

AGOSTO DE 2017

**IDENTIFICACIÓN DE  
ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS  
PARA EL TÍTULO DJU-151, MINA  
CHAPARRAL, UBICADA EN EL  
MUNICIPIO DE MARIPÍ EN LA  
DETERMINACIÓN DE  
MINERALIZACIONES DE  
ESMERALDAS**

PRÁCTICA EMPRESARIAL



Tomado de: <https://www.mindat.org/gm/1375>. Foto web. Diego Rodríguez.

GINED LORENA ROSAS PEREZ

COPEMIN S.A.S.



IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PARA EL TÍTULO DJU-151, MINA CHAPARRAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MARIPI EN LA DETERMINACIÓN DE MINERALIZACIONES DE ESMERALDAS



## IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PARA EL TÍTULO DJU-151, MINA CHAPARRAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MARIPI EN LA DETERMINACIÓN DE MINERALIZACIONES DE ESMERALDAS

GINED LORENA ROSAS PEREZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA  
SOGAMOSO, 2017



IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PARA EL TÍTULO DJU-151, MINA  
CHAPARRAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MARIPI EN LA DETERMINACIÓN DE  
MINERALIZACIONES DE ESMERALDAS



## IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PARA EL TÍTULO DJU-151, MINA CHAPARRAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MARIPI EN LA DETERMINACIÓN DE MINERALIZACIONES DE ESMERALDAS

GINED LORENA ROSAS PEREZ

Proyecto como modalidad de Práctica con Proyección Empresarial, presentado  
como requisito para optar al título de:  
Ingeniero geólogo

Director  
JORGE ELIÉCER MARIÑO MARTÍNEZ  
Ingeniero geólogo  
PHD. Geología

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA  
SOGAMOSO, 2017



IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PARA EL TÍTULO DJU-151, MINA  
CHAPARRAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MARIPI EN LA DETERMINACIÓN DE  
MINERALIZACIONES DE ESMERALDAS



**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma Presidente del Jurado

---

Firma Director del Proyecto

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Sogamoso, Agosto de 2017



*Primero a Dios quien es mi mayor soporte, mi guía, mi fortaleza y mi principal apoyo en cada una de las etapas de mi vida.*

*A mi mamá Martha Lucia, que con su apoyo, esfuerzo, dedicación, paciencia, entrega y amor ha logrado formarme y convertirme en la persona que soy.*

*A mi papá Luis Carlos, que con su apoyo, esfuerzo, compañía, amor y entrega ha logrado sacarme adelante y en cada etapa de mi vida suministrarme lo necesario para mi bienestar.*

*A mis abuelos María del Carmen y José Isaías, por sus palabras de amor, su apoyo y sus oraciones.*

*A mis tíos, tías, primos y primas por su apoyo en cada una de las etapas de mi vida, sus consejos y su preocupación por mi bienestar.*

*A mis amigos por su apoyo, consejos y ayuda incondicional.*

**Gined Lorena**



## AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus sinceros agradecimientos a:

Jorge Eliécer Mariño Martínez, ingeniero geólogo, director del proyecto por su confianza, dedicación, apoyo y enseñanza para llegar a feliz término este proyecto.

Jhon Jairo Durán Murcia, ingeniero de minas, coordinador de la práctica en COPEMIN S.A.S. por su apoyo, confianza y ayuda para el buen desarrollo del proyecto.

Jorge Julián Jaramillo Upegui, gerente de COPEMIN S.A.S. por brindarme la oportunidad de trabajar en esta gran compañía, de aprender, conocer, aplicar los conocimientos teóricos adquiridos durante la academia, además por su confianza y apoyo.

Diana Ramírez, ingeniera de minas y en general a todo el equipo de COPEMIN S.A.S. por su cariño, comprensión, ayuda y apoyo para llegar a culminar de manera satisfactoria este proyecto.

Víctor Carrillo Lombana, geólogo, por su apoyo, dedicación y enseñanza acerca de nuestro recurso esmeraldífero al que califica en su libro “Esmeraldas de Colombia”, como un verdadero patrimonio geológico de la humanidad.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	133
<b>ABSTRACT</b> .....	14
<b>Introducción</b> .....	15
<b>1. Generalidades</b> .....	17
<b>1.1. Localización Geográfica</b> .....	17
<b>1.2. Clima, vegetación, fauna y uso del suelo</b> .....	20
<b>1.2.1. Clima</b> .....	20
<b>1.2.2. Vegetación</b> .....	20
<b>1.2.3. Fauna</b> .....	21
<b>1.2.4. Uso del suelo</b> .....	22
<b>1.3. Vías de acceso</b> .....	22
<b>1.4. Hidrografía</b> .....	24
<b>1.5. Aspectos geomorfológicos</b> .....	25
<b>1.5.1. Formas de origen denudacional</b> .....	25
<b>1.5.2. Formas de origen estructural</b> .....	26
<b>1.5.3. Formas de origen fluvial</b> .....	26
<b>2. Metodología</b> .....	28
<b>2.1.1. Recopilación de información bibliográfica</b> .....	28
<b>2.1.2. Trabajo en campo</b> .....	28
<b>2.1.2.1. Reconocimiento en los alrededores de la mina Chaparral</b> .....	28
<b>2.1.2.2. Identificación de estructuras geológicas en la mina Chaparral</b> .....	39
<b>2.1.3. Generación del mapa geológico y cortes geológicos</b> .....	41
<b>2.1.5. Elaboración y presentación del informe final.</b> .....	48
<b>3. Aspectos geológicos regionales</b> .....	49
<b>4. Estratigrafía</b> .....	51
<b>4.1. Estratigrafía regional</b> .....	51
<b>4.1.1. Formación Rosablanca (K<sub>1ro</sub>)</b> .....	51
<b>4.1.2. Formación Ritoque</b> .....	52
<b>4.1.3. Formación Paja (K<sub>1p</sub>)</b> .....	53
<b>4.1.4. Formación Tablazo (K<sub>1t</sub>)</b> .....	55
<b>4.2. Estratigrafía local</b> .....	56





4.2.1. Formación Furatena (b2f) .....	57
4.2.2. Formación Muzo (b3b4m- edad Hauteriviano-Barremiano).....	61
4.2.3. Formación Capotes (b4b6c-edad Aptiano tardío- albio temprano).....	64
4.3. Correlación entre la estratigrafía Regional y la estratigrafía local .....	66
5. Geología estructural.....	68
5.1. Pliegues .....	68
5.1.1. Sinclinal de Furatena .....	68
5.1.2. Anticlinal de Furatena.....	69
5.2. Fallas .....	70
5.2.1. Falla del Río Minero.....	70
5.2.2. Falla de Pirtucha.....	71
5.2.3. Falla Mina .....	73
6. Geología económica .....	74
6.1. Las esmeraldas de Colombia y su modelo genético.....	74
6.1.1. Características generales de las esmeraldas.....	74
6.1.2. Modelos genéticos a nivel mundial.....	76
6.1.3. Yacimientos esmeraldíferos de Colombia .....	79
6.1.3.1. Descripción detallada del modelo genético de Colombia.....	79
6.1.3.2. Marco geográfico de los yacimientos esmeraldíferos de Colombia.....	87
6.1.3.2.1. Cinturón Oriental.....	88
6.1.3.2.2. Cinturón Occidental .....	90
6.2. Aspectos exploratorios .....	92
6.2.1. Caracterización exploratoria del túnel Chaparral.....	93
6.2.2. Observaciones areales relacionadas con las mineralizaciones. ....	96
7. Conclusiones .....	97
8. Recomendaciones .....	99
9. Bibliografía.....	100
ANEXOS.....	102





## LISTA DE IMAGÉNES

Imagen. 1. Bocamina Chaparral. Tomado por la autora. ....	19
Imagen. 2. Árboles y pastos hacia el fondo, vegetación típica de la zona de estudio. Tomada por la autora desde la carretera que conduce desde el campamento hasta Zulia. ....	21
Imagen. 3. Anaconda típica de la zona, conocida entre los pobladores como Güio. Tomado de un vídeo grabado por Ricardo Pineda. ....	21
Imagen. 4. Lagartija típica de la zona. Tomado por Ricardo Pineda. ....	22
Imagen. 5. Río Minero en su curso por la zona de estudio. Tomado por la autora desde el Sector que conduce hacia la Quebrada Caipala. ....	24
Imagen. 6. Caída de agua en la Quebrada Caipala. Arcillolitas negras carbonosas. Tomado por la autora, coordenadas E: 1000581, N: 1113453, Altura: 459 m.s.n.m. ....	25
Imagen. 7. Formas de origen estructural, pendientes escalonadas en la zona de estudio. Tomado por la autora desde el Campamento. ....	27
Imagen. 8. Toma de datos de rumbo en la Quebrada La Vueltiada. Tomado por Yeison Barragan. ....	29
Imagen. 9. Análisis de las muestras bajo el estéreo del Laboratorio de Petrografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tomado por Daniela Ocampo. ....	29
Imagen. 10. Estación GLRP-001. Arcillolitas carbonosas color gris oscuro. Tomado por la autora sobre la Carretera que conduce desde el Campamento hacia Zulia. ....	30
Imagen. 11. Estación GLRP-003. Lutitas gris claro con óxidos de hierro. Tomado por la autora sobre la carretera que conduce del Campamento hacia Zulia. ....	31
Imagen. 12. Estación GLRP-004. Arcillolitas grises casi perpendiculares a la estratificación, con presencia de óxidos de hierro. Tomado por la autora sobre la Carretera que conduce del campamento hacia Zulia. ....	31
Imagen. 13. Estación GLRP-005. Cambio entre arcillolitas negras a arcillolitas blancas por presencia de fluidos hidrotermales. Tomado por la autora. ....	32
Imagen. 14. Estación GLRP-006. Pequeño plegamiento lutitas gris oscuro. Tomado por la autora. ....	32
Imagen. 15. Estación GLRP-008. Lutitas color fresco gris oscuro, color meteorizado gris claro con presencia de óxidos de hierro. Zona de brecha hidrotermal. Tomado por la autora. ....	33
Imagen. 16. Estación GLRP-035. Quebrada Caipala, Lutitas compactas gris oscuro en estratos subhorizontales Tomado por la autora. ....	34
Imagen. 17. Estación GLRP-039. Arcillolitas color fresco gris oscuro, color meteorizado gris rojizo. Presencia de caolín. Tomado por la autora. ....	34
Imagen. 18. Estación GLRP-051. Quebrada La Vueltiada Veta de calcita con aproximadamente 5 cm de espesor. Tomado por la autora. ....	35
Imagen. 19. Estación GLRP-003. Lutita con presencia de goethita y limonita. Tomado por la autora. ....	36
Imagen. 20. Estación GLRP-005. Presencia de ópalo, goethita y limonita. Tomado por la autora. ....	36
Imagen. 21. Estación GLRP-005. Arcillolita con presencia de goethita y limonita. Tomado por la autora. ....	37
Imagen. 22. Estación GLRP-008. Presencia de calcita, goethita, limonita, moscovita y micas con litio (mierdeloro) Tomado por la autora. ....	37
Imagen. 23. Estación GLRP-008. Lutita con presencia de goethita, limonita y calcita. Muestra de una zona de brecha. Tomado por la autora. ....	38
Imagen. 24. Estación GLRP-051. Se observa inyecciones de calcita dentro de la lutita; ésta contiene pequeños rastros de goethita. Tomado por la autora. ....	38



Imagen. 25 Túnel en su nivel principal. Se observa en la parte superior un tubo de 16 pulgadas por el que circula el aire fresco hacia el interior de la mina y en la parte inferior un tubo de 3 pulgadas por el que circula el aire comprimido para el martillo y la perforadora. De igual manera se encuentra un riel por el que circulan los coches para el traslado del estéril a superficie y también abscisas que indican los metros dentro del túnel. Éste no presenta revestimiento, debido a que la roca es competente. Tomado por la autora.....	41
Imagen. 26 Grietas rellenas con minerales arcillosos (principalmente caolín), en la Formación Furatena Nivel principal Túnel Bocamina Chaparral 2. Tomado por la autora.....	59
Imagen. 27. Lutitas compactas carbonosas calcáreas Formación Furatena Túnel principal Túnel Bocamina Chaparral 2. Tomado por la autora.....	59
Imagen. 28. Arcillolitas carbonosas Formación Furatena Quebrada Caipala. Tomado por la autora.....	60
Imagen. 29. Panorámica de la Formación Furatena y del Río Minero a su paso por la zona de estudio. Nótese en el fondo los Cerros de Fura y Tena. Tomado por la autora.....	60
Imagen. 30. Panorámica de la Formación Muzo en la zona de estudio. Tomado por la autora.....	62
Imagen. 31. Veta conformada por calcita, pirita y pirofilita dentro del túnel Bocamina Chaparral 2, frente 6 en la Formación Muzo. Tomado por la autora. ....	63
Imagen. 32. Fracturamiento dentro de la Formación Muzo que asemeja tubos por el que se infiltra el agua, en el frente 6 en el túnel Bocamina Chaparral 2. Tomado por la autora.....	63
Imagen. 33. Brecha hidrotermal dentro de la Formación Muzo en la que se observa dos sistemas de vetas, uno vertical y el otro cortando éstas vetas. Siendo el sistema de vetas verticales el mas antiguo. Tomado por la autora en el frente 5 túnel Bocamina Chaparral 2.....	64
Imagen. 34. Arcillolitas blanda de color gris claro de la Formación Capotes. Tomado por Diego Acevedo, Coordenadas: E: 1002301, N: 1112773, Altura: 1121 m.s.n.m.....	65
Imagen. 35. Nódulos compuestos por sulfuros (pirita principalmente) en la base de la Formación Capotes Tomado por la autora. ....	66
Imagen. 36 Vista desde el Cerro Alto del Negro donde se aprecia el Sinclinal de Furatena conformado por rocas de la Formación Furatena. Tomado por Diego Acevedo.....	69
Imagen. 37. Anticlinal de Furatena conformado por rocas de las Formaciones Furatena y Muzo; la estructura forma el Cerro Alto del Negro. Tomado por Diego Acevedo. ....	70
Imagen. 38. Lineamiento de la falla del Río Minero. Tomado por la autora.....	71
Imagen. 39. Lineamiento de la falla Pirtucha. Tomado por Diego Acevedo. ....	72
Imagen. 40. Collage de la zona de brecha localizado en las coordenadas E: 1 002 143 N: 1 113 535 Altura: 888 m.s.n.m. Tomado por la autora.....	72
Imagen. 41. Muestra de las estrias en el frente 6 indicando la presencia de la Falla Mina. Tomado por la autora. ....	73
Imagen. 42. Muestra de la zona de brecha en el frente 6 con presencia de calcita, dolomita y pirita. Tomado por la autora. ....	73
Imagen. 43. Cristales de calcita romboédrica negra en macla de un tamaño aproximado de 1cm. Tomado por la autora. ....	94
Imagen. 44. Veta conformada por pequeños cristales de pirita de aproximadamente 1 cm en una matriz de calcita con textura de granizo. Tomado por la autora. ....	94
Imagen. 45. Pequeños cristales de cuarzos embebidos en una matriz de calcita. Tomado por la autora. ....	95
Imagen. 46. Muestra de la zona de brecha encontrada en el frente 3. Tomado por la autora. ....	95
Imagen. 47. Veta horizontal en una zona de brecha, Frente 2. Tomado por la autora. ....	96



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización zona de estudio. Elaborado por la autora.....	18
Figura 2. Localización puntos del contrato de Concesión. Elaborado por la autora .....	19
Figura 3. Vía Chiquinquirá-Otanche. Tomado de Google Earth .....	23
Figura 4. Guanares, desvío hacia la inspección de Zulia y localización de la Bocamina. Tomado de Google Earth.....	23
Figura 5. Esquema del nivel principal, del nivel exploratorio y de los frentes en el túnel Chaparral 2. Elaborado por la autora .....	40
Figura 6. Localización Bocamina Chaparral 1 y Bocamina Chaparral 2. Elaborado por la autora. ....	42
Figura 7. Perfil A-A'. Elaborado por la autora. ....	43
Figura 8. Perfil B-B'. Elaborado por la autora. ....	44
Figura 9. Perfil C-C'. Elaborado por la autora. ....	45
Figura 10. Perfil D-D'. Elaborado por la autora.....	45
Figura 11. Perfil E-E'. Elaborado por la autora. ....	46
Figura 12. Perfil A-E'. Elaborado por la autora. ....	47
Figura 13. Perfil D-C'. Elaborado por la autora.....	47
Figura 14. Principales variedades del berilo. Se especifican los elementos que generan el color (cromóforos). Tomado de Carrillo. 2007.....	75
Figura 15. La fórmula más comúnmente utilizada por la naturaleza para generar esmeraldas: Modelo de alta temperatura. Tomado de Carrillo. 2007.....	77
Figura 16. La fórmula especial utilizada por la naturaleza para originar las esmeraldas de Colombia: Modelo de baja temperatura. Tomado de Carrillo. 2007.....	77
Figura 17. Mecanismo de formación de las esmeraldas de Nigeria, Africa, sinterizado y modificado de G. Giuliani, et al. Editores (2002). Tomado de Carrillo .2007. ....	78
Figura 18. Esquema que presenta los principales eventos geológicos que precedieron el descubrimiento de las esmeraldas colombianas. Tomado de Carrillo. 2007.....	79
Figura 19. Geografía de Colombia a finales del Jurásico. Las flechas naranja indican genéricamente, el sentido de transporte hacia las zonas marinas, de los sedimentos erosionados del continente Sur Americano. Tomado de Carrillo. 2007. ....	80
Figura 21. Paleogeografía de Colombia hace aprox. 100ma. Nótese que prácticamente todo el sector que hoy ocupa la Cordillera Oriental era dominio marino y que los procesos de erosión, transporte y sedimentación continúan desarrollándose (flechas naranja). La cadena de islas corresponde a algunos segmentos de la ancestral cordillera central. La elipse señala la zona donde el desarrollo de los 2 y 3 condujeron a la formación de las esmeraldas colombianas, la cual tiene una relación directa con el paleogolfo de Cundinamarca y Boyacá. Tomado de Carrillo. 2007. ....	81
Figura 22. Evento 2: Enterramiento de la secuencia sedimentaria Cretácica e incremento de presiones y temperaturas. Los sedimentos se depositan en capas o estratos aproximadamente horizontales; el recuadro ampliado esquematiza la distribución de las moléculas de agua y de los principales elementos metálicos contenidos en las lodolitas negras. Tomado de Carrillo. 2007. ....	82
Figura 23. Evento 3: Deformación y Fallamiento de la secuencia sedimentaria y desarrollo de espacios vacíos en las zonas de fracturamiento. En la zona señalada por el rectángulo naranja se sucede el evento 4. Tomado de Carrillo. 2007. ....	84
Figura 24. Evento 4, formación de esmeraldas, fase I: Removilización geoquímica. Los rellenos que producen esmeraldas (fértils), se señalan con flechas negras; los señalados con flechas naranjas son estériles debido a que, por diferentes circunstancias, no portan todos los elementos que se necesitan para la formación de las gemas. Tomado de Carrillo. 2007.....	84

Figura 25. Evento 4, formación de las esmeraldas: fase 2, Precipitación y cristalización de las gemas. Tomado de Carrillo. 2007.....	85
Figura 26. Decoloración de las lodolitas negras por alteración hidrotermal (albitización). A la derecha un fragmento de lodolita mostrando un molde de un fósil marino y su color negro natural; a la izquierda una masa central de lodolita alterada, de color gris medio, delimitada lateralmente por dos vetillas de carbonatos que engloban pequeños cristales de esmeraldas. Longitud de la roca albitizada: 10 cm. Obsérvese la inclusión de fragmentos de lodolitas albitizados dentro de las masas blanquecinas de los carbonatos de las vetas. Tomado de Carrillo. 2007. ....	85
Figura 27. Evento 5. Ascenso y erosión de la Cordillera Oriental de Colombia. Nótese que el bloque central, señalado por la flecha roja vertical, se eleva más que los laterales, lo que ocasiona la erosión del nivel que porta las mineralizaciones de esmeraldas (banda de color naranja). Círculo 1: Región de Muzo - Yacopí. Círculo 2: Región de Chivor - Gachalá. Las flechas negras dobles representan los esfuerzos laterales que dieron origen al solevantamiento del bloque cordillerano. Modificado de: Pluijm, B. y Marshak, S., 1997. Tomado de Carrillo. 2007. ....	86
Figura 28. Evento 6: Erosión, descubrimiento y explotación de las esmeraldas. Antiguas explotaciones a cielo abierto en la región de Chivor; hoy en día este tipo de labores ha sido sustituido por métodos de explotación subterráneos, menos agresivos con el medio ambiente. Tomado de Carrillo. 2007.....	87
Figura 29. Localización geográfica sobre un mapa de sombras, de las zonas esmeraldíferas de Colombia. Las tonalidades verdes corresponden a las zonas topográficamente más bajas; las ocre a las da mayor altura. Tomado de Carrillo. 2007. ....	88
Figura 30. Distribución geográfica de las principales minas activas de la zona esmeraldífera oriental. Tomado de Carrillo. 2007.....	90
Figura 31. Distribución geográfica de las principales minas activas de la zona esmeraldífera occidental. Tomado de Carrillo. 2007.....	92

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del Contrato DJU-151. Tomado de PTO. ....	18
Tabla 2. Muestras recolectadas en campo. Elaborada por la autora. ....	35
Tabla 3. Correlación entre la estratigrafía regional y local. Elaborado por la autora. ....	67
Tabla 4. Propiedades físicas, químicas y cristalografía de la esmeralda. Tomado de Mina de Piedras 2009. ....	75
Tabla 5. Propiedades ópticas de las esmeraldas. Tomado de Mina de Piedras 2009. ....	76





## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 . Tabla de datos recolectados en superficie. Elaborado por la autora. ....	104
Anexo 2. Tabla de datos recolectados en el túnel reciente. Elaborado por la autora. ....	108
Anexo 3. Columna estratigráfica generalizada vereda Chaparral. Tomado de Diego Armando Acevedo Cardozo & Marly Judith Vargas Fonseca. 2014.....	109
Anexo 4. Sección compuesta estratigráfica de la Formación Furatena Carretera Borbur-Quebrada Buriburi y Carretera Río Minero-Pauna. Tomado de Laura Milena Ortega Medina. 2007.....	110
Anexo 5. Columna estratigráfica Formación Furatena. Tomado de Diego Armando Acevedo Cardozo & Marly Judith Vargas Fonseca. 2014. ....	111
Anexo 6. Sección estratigráfica Formación Muzo Carretera San Pablo de Borbur-Pauna. Tomado de Laura Milena Ortega Medina. 2007. ....	112
Anexo 7. Columna estratigráfica Formación Muzo. Tomado de Diego Armando Acevedo Cardozo & Marly Judith Vargas Fonseca. 2014. ....	113
Anexo 8. Columna estratigráfica Formación Capotes. Tomado de Diego Armando Acevedo Cardozo & Marly Judith Vargas Fonseca. 2014. ....	114
Anexo 9. Mapa Geológico Zona de estudio. Escala 1:5000. Elaborado por la autora. ....	115



## RESUMEN

**TÍTULO:** IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PARA EL TÍTULO DJU-151 MINA CHAPARRAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MARIPÍ EN LA DETERMINACIÓN DE MINERALIZACIONES DE ESMERALDAS. <sup>1</sup>

**AUTOR:** Gined Lorena Rosas Perez. <sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVE:** Título DJU-151, Boyacá, Maripí, Cinturón Esmeraldífero Occidental, Mina Chaparral, estructuras geológicas, Formación Furatena, Formación Muzo, Formación Capotes, esmeraldas.

El presente proyecto se localiza en la Cordillera Oriental, en su flanco occidental, en el denominado Cinturón Esmeraldífero Occidental, en el departamento de Boyacá, en el municipio de Maripí, en la Mina de Esmeraldas Chaparral. Este proyecto se basa en la identificación de estructuras geológicas en el Título DJU-151 con el fin de hallar mineralizaciones de esmeraldas.

El proyecto fue desarrollado en 3 etapas principales. La primera consta de una recopilación de información bibliográfica de la zona tanto en reconocimiento de estudios realizados y mapas geológicos levantados en el área. La segunda es una etapa de campo dividida en dos: - toma de datos estructurales en superficie y - toma de datos bajo tierra, en el túnel Chaparral, en el que se identificaron los contactos entre las principales formaciones sedimentarias del cretáceo inferior presentes en el área de estudio, estas son Formación Furatena de la época del Valanginiano, la Formación Muzo correspondiente a la época comprendida entre el Hauteriviano al Barremiano y la Formación Capotes de la época comprendida entre el Aptiano tardío al Albiano temprano. Del mismo modo se reconocieron las fallas presentes en la zona de estudio, las cuales son la Falla Pirtucha y la Falla Mina y de manera regional la Falla del Río Minero. La tercera etapa consta en la elaboración del mapa geológico, de cortes geológicos y del informe final.

La información recolectada es el primer paso en la exploración de esmeraldas para establecer yacimientos, también se requiere de geoquímica, estudio de isótopos, entre otros estudios que brinden una mayor información para poder tener una mejor certeza en la localización de éste tipo de yacimientos.

---

<sup>1</sup> Práctica empresarial

<sup>2</sup> Escuela de Ingeniería Geológica. Director Jorge Eliécer Mariño Martínez



## ABSTRACT

TITLE: IDENTIFICATION OF GEOLOGICAL STRUCTURES FOR THE TITLE DJU-151 MINE CHAPARRAL, LOCATED IN THE TOWN OF MARIPI IN THE DETERMINATION OF MINERALIZATION OF EMERALDS. <sup>3</sup>

AUTHOR: Gined Lorena Rosas Perez.<sup>4</sup>

Key words: title DJU-151, Boyacá, Maripí, Western Emeralds Belt, Chaparral Mine, geological structures, Furatena Formation, Muzo Formation, Capotes Formation, emeralds.

This project is located in the eastern Cordillera, on its western flank, in the so-called Western Emeralds Belt, in the Department of Boyacá, in the town of Maripí, in the Emeralds Chaparral Mine. This project is based on the identification of geological structures in the title DJU-151 in order to find mineralization of emeralds

The project was developed in 3 main stages. The first consists of a collection of bibliographical information of the area both in recognition of studies carried out and geological maps raised in the area. The second is a field stage divided into two: structural data taking in surface and data taking underground, in the Chaparral tunnel, which identified the contacts between the main sedimentary formations of the Lower Cretaceous present in the study area, these are Furatena Formation of the time of the Valanginiano, the Muzo Formation corresponding to the period between the Hauteriviano to the Barremiano and the Capotes Formation of the period between the late Aptian to early Albian. In the same way, the faults present in the study area were recognized, which are the fault of the Pirtucha and the fault of the mining river and in a regional way. The third stage consists of the elaboration of the geological map, geologic cuts and the final report.

The information collected is the first step in the exploration of emeralds to establish deposits, also requires geochemistry, isotope study, among other studies that provide more information to be able to have a better certainty in locating this type of deposits.

---

<sup>3</sup> Practice business

<sup>4</sup> Geological Engineering School. The director Jorge Eliecer Mariño Martínez.





## Introducción

Desde antes de la llegada de los españoles a nuestro territorio ya se explotaban las esmeraldas en la cordillera oriental, recibiendo los primeros indicios de la fuente de las esmeraldas al llegar a Guachetá, Lenguazaque, Cucunubá, Suesca, Nemocón, Tausa y Zipaquirá donde se encontraron importantes cantidades de oro y esmeraldas, pero fue hasta en 1539 cuando se conocieron los yacimientos de los muzos.<sup>5</sup>

Después de la independencia de Colombia las minas de esmeraldas estuvieron sin explotar hasta 1824, cuando el Ministerio de Hacienda otorgó la explotación de las minas de Muzo a Carlos Stuard, Mariano Rivera y José Paris, general de la república y compañero de lucha de Bolívar en la guerra de independencia con una participación del 10% del gobierno colombiano. La parisita debe su nombre al general Paris cuando se reportó su descubrimiento en las minas bajo su explotación en la década del 40. El gobierno nacional divulgó la Ley 31 de 1870, por la cual el estado declaraba como de su propiedad cualquier yacimiento que se descubriera a partir de la fecha junto con los predios que los conformaran, exceptuando las minas de Muzo que tenían un contrato vigente hasta 1875. La Ley 31 creó la reserva especial de Muzo en Boyacá que comprendía los yacimientos de Muzo, Peñas Blancas y Coscuez.<sup>6</sup>

La formación de las esmeraldas tiene un modelo general de origen ígneo denominado de alta temperatura, pero las esmeraldas de Colombia tienen un modelo especial para su génesis que es un modelo sedimentario de baja temperatura que fue propuesto por Gastón Giuliani en la década del 90.

En nuestro país estas hermosas gemas se localizan en la cordillera oriental en lo que se conocía a mediados del cretáceo como el paleogolfo Cundiboyacense; éstas se juntan en dos cinturones a lado y lado de la cordillera denominados Cinturón Esmeraldífero Occidental que comprende los sectores de Muzo, Coscuez y Peñas Blancas y el Cinturón Esmeraldífero Oriental que comprende los sectores de Chivor, Gachalá y Somondoco. Estos cinturones esmeraldíferos se encuentran separados entre 80 a 100 km.

<sup>5</sup> Tomado de: <http://www.minadepiedras.com/es/la-esmeralda/historia-de-la-esmeralda.html>

<sup>6</sup> Tomado de : <http://www.minadepiedras.com/es/la-esmeralda/historia-de-la-esmeralda.html>



En el Cinturón Esmeraldífero Occidental las mineralizaciones de esmeraldas son encajadas por rocas sedimentarias del Cretáceo Inferior correspondiendo a la Formación Rosablanca y a la Formación Paja.

En el municipio de Maripí se encuentran minas que han sido conocidas relativamente hace poco, cabe resaltar la mina La Pita, mina de la cual han salido hermosas gemas. La Compañía Operadora de Minas, COPEMIN S.A.S., se constituyó el 28 de Abril de 2014 debidamente registrada ante cámara de comercio de la ciudad de Bogotá, motivada por la experiencia de sus socios en proyectos mineros y la potencialidad de operación minera bajo estándares mineros en proyectos del occidente de Boyacá a través de la celebración de contratos de Avió, exploración y explotación con los titulares de concesiones mineras ante el estado.

La Compañía llegó a la zona del occidente de Boyacá a operar el Proyecto minero CHAPARRAL con un área de 224 Hectáreas que se encuentra ubicado en el Municipio de Maripí, en el corregimiento de Zulia en la vereda Chaparral. Este proyecto es un Contrato de Concesión, identificado con placa DJU-151. Se celebró un contrato entre los titulares: Welner Diosde Gonzalez Rincón – Luis de Jesús Contreras Valero- Carlos Eduardo Contreras Valero y la Compañía Operadora de Minas “COPEMIN S.A.S.” acordando ejecutar la explotación técnico, minero, ambiental y social del título a partir de Febrero de 2015.

Este proyecto tiene como objetivo principal identificar las estructuras geológicas en el Título DJU-151 con el fin de determinar mineralizaciones de esmeraldas; esto se realizará tomando datos estructurales en superficie, la zona se localiza entre los 425 a los 1000 m.s.n.m., caracterizada por presentar una alta lluviosidad y una temperatura superior a los 24 °C. Además, se toman datos estructurales dentro del túnel localizado a los 800 m.s.n.m. y que cuenta con una longitud total de 575.3 metros se tomarán datos estructurales identificando las fallas que pasan por este.

# 1.Generalidades

## 1.1. Localización Geográfica

El municipio de Maripí se encuentra ubicado en la Provincia de Occidente departamento de Boyacá. Está situado a 41 km de la ciudad de Chiquinquirá, la capital de la provincia, y a 119 kilómetros de la ciudad de Tunja la capital del departamento. Sus límites son: por el norte con el municipio de Pauna; por el sur con el Municipio de Coper, al oriente con Buenavista y Caldas y al Occidente con el municipio de Muzo y el municipio de San Pablo de Borbour.

El municipio se encuentra ubicado en el flanco occidental de la cordillera Oriental, en su declinación por la cuenca del río Minero hacia el valle del río Magdalena, la topografía del territorio es de tipo quebrado, y lo atraviesan varias fallas geológicas. La altitud sobre el nivel del mar, oscila entre 425 m.s.n.m. al extremo occidental del municipio en la vereda Zulia, hasta los 3.020 m.s.n.m. en el cerro Yanacá ubicado en la vereda Sabaneta. El municipio posee 9 veredas: Centro, Guayabal, Guazo, La Carrera, Maripí Viejo, Palmar, Sabaneta, Santa Rosa (inspección), Zulia (inspección)

El área de estudio se encuentra ubicado en el Municipio de Maripí en el corregimiento de Zulia vereda Chaparral como se observa en la Figura 1.

El área contratada se localiza dentro de la plancha del IGAC 190-I-A abarcando una superficie total de 224 hectáreas y 2.24 Kilómetros cuadrados. El punto arcifinio corresponde a la desembocadura de la quebrada Guarumal al río Minero con coordenadas N: 1113725, y E: 1000500. Y el polígono contratado está enmarcado dentro de las coordenadas que se observan en la Tabla 1. En la Figura 2 se muestra la localización de los puntos del Contrato de Concesión en la zona de estudio.

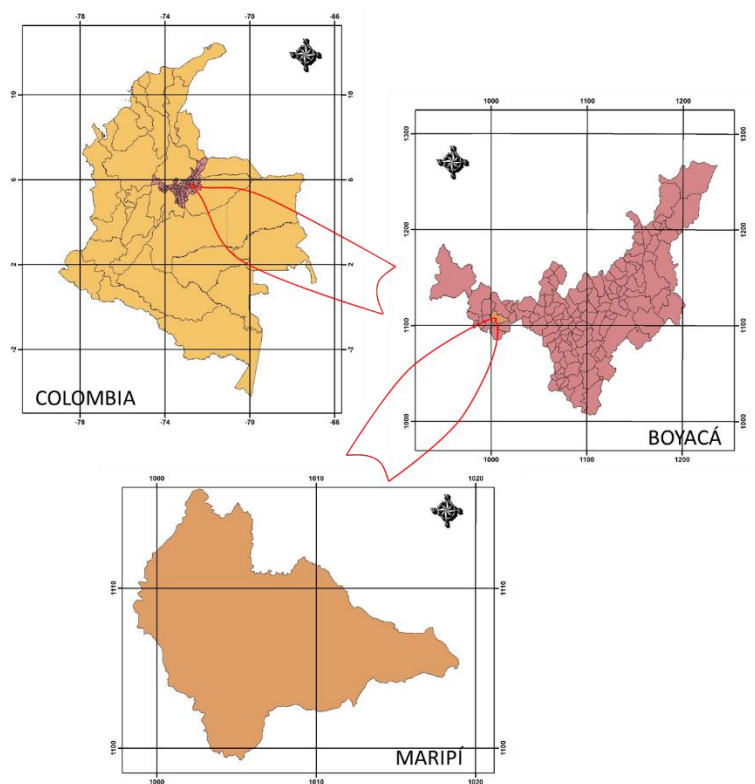


Figura 1. Localización zona de estudio. Elaborado por la autora.

Tabla 1. Coordenadas del Contrato DJU-151. Tomado de PTO.

PUNTO	NORTE	ESTE
1	1113875	1000760
2	1112786	1002437
3	1113682	1003019
4	1113701	1002989
5	1113596	1002921
6	1114131	1002097
7	1114237	1002165
8	1114281	1002097
9	1114495	1002236
10	1114985	1001481



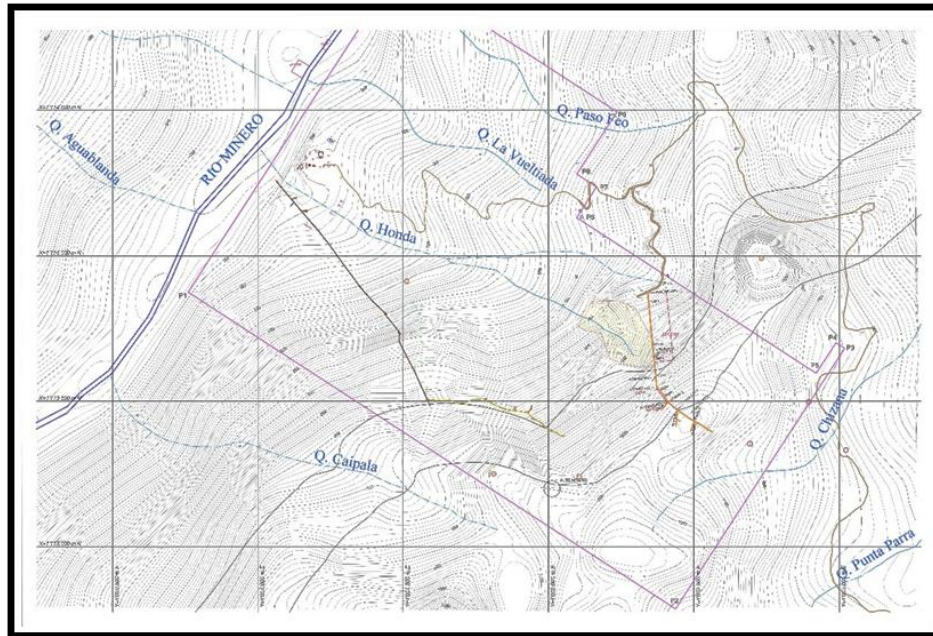


Figura 2. Localización puntos del contrato de Concesión. Elaborado por la autora

La bocamina se localiza en las siguientes coordenadas: E: 1002341, N: 1113869, A: 800 m.s.n.m. La entrada del túnel tiene una sección de  $3.6 \text{ m}^2$  y se encuentra debidamente revestida. Hacia la parte Norte se observa el botadero que fue diseñado para apilar el material estéril que sale de la mina como se observa en la Imagen 1.



Imagen. 1. Bocamina Chaparral. Tomado por la autora.

## 1.2. Clima, vegetación, fauna y uso del suelo

### 1.2.1. Clima

El clima del municipio es de tipo tropical de montaña, con altitud que oscila entre 425 a 2950 m.s.n.m. Este rango de altitud, hace que el territorio posea tres de los cuatro pisos térmicos para este tipo de clima: Piso térmico cálido: de los 425 a los 1000 m.s.n.m., caracterizado por alta lluviosidad con temperatura superior a los 24 °C, en las veredas de Zulía, Santa Rosa, Guazo y parte de La Carrera y Guayabal. Piso térmico templado: comprendido entre los 1000 y 2000 m.s.n.m., el cual abarca cerca de la mitad del área municipal, con temperaturas que oscilan entre los 17 y 22 °C. Las precipitaciones son también variables oscilando de 2.000 mm a 2.500 mm anuales. En este rango se ubican las veredas Centro, Palmar, Maripí Viejo, la mayor parte de Guayabal y un sector de La Carrera. Piso térmico frío: situado entre los 2000 y 2950 msnm, es la región del bosque andino o bosque de niebla, con una temperatura de 10 a 17 °C, con lluvias de 2000 mm al año. En este sitio se ubica la vereda de Sabaneta y sectores de la vereda Centro y Guayabal.<sup>7</sup>

### 1.2.2. Vegetación

Se observan altos cerros, profundas cuencas formadas por los ríos y quebradas; llanuras y mesetas onduladas; pequeños valles. El monte original es de considerable altura, con varios estratos arbóreos y abundantes epífitas sobre troncos y ramas.

Son lugares de suelos fértiles. Estas selvas primitivas fueron transformadas inicialmente en cafetales y actualmente poseen variedad de cultivos y potreros; los pocos bosques que pudieron quedar en los sitios más alejados, actualmente están siendo talados para implantar ganaderías y cultivos, (Véase Imagen 2).

La vegetación es exuberante, las sucesiones vegetales pasan con rapidez y los potreros se enmalezan fuertemente con rabo de zorro (*Andropogon bicornis*), salvia (*Eupatorium inulaefolium*) y helecho (*pteridium aquilinum*).

Los verdosos parches en estas cuevas andinas, son debido a la presencia de las matas de guadua (*Guadua angustifolia*) que se entrelazan con los cafetales, esta asociación junto con los sauces playeros (*Tessaria integrifolia*) y cañabravas (*Gynerium sagittatum*) predominan en las riberas de los cursos de agua de caños, arroyos y quebradas.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Tomado de la página web del Municipio de Maripí. [http://www.maripiboyaca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.maripiboyaca.gov.co/informacion_general.shtml)

<sup>8</sup> Tomado del Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Maripí, año 2000.





*Imagen. 2. Árboles y pastos hacia el fondo, vegetación típica de la zona de estudio. Tomada por la autora desde la carretera de conduce desde el campamento hasta Zulia.*

### 1.2.3. Fauna

El recurso fauna en el Municipio de Maripi, está representado fundamentalmente por el grupo de las aves y mamíferos, seguido por los reptiles (culebras y serpientes), como se observa en las Imágenes 3 y 4.



*Imagen. 3. Anaconda típica de la zona, conocida entre los pobladores como Güio. Tomado de un vídeo grabado por Ricardo Pineda.*





Imagen. 4. Lagartija típica de la zona. Tomado por Ricardo Pineda.

#### 1.2.4. Uso del suelo

El área del Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-PM) está siendo usada para las plantaciones de caña de azúcar (fabricación de miel de caña y en pocos sectores de la panela); cultivan así mismo plátano, maíz, yuca, frijol, banano y pastos de corte como imperial (*Axonopus scoparius*) y elefante (*Pennisetum purpureum*), pocas zonas se han dedicado a la ganadería como la vereda Sabaneta en donde encontramos potreros de Yaragua (*Melinis minutiflora*) y gramas nativas. Los árboles frutales en este clima son numerosos: cítricos, guayaba, mango, aguacate, papaya y maracuyá; en esta formación abunda el fruto de la palma de chontaduro, conocido en esta región como cachipai. Las maderas de estas tierras son de gran calidad, de ahí que son escasos los bosques que sobreviven sobre estas escarpadas lomas y montañas.

### 1.3. Vías de acceso

Desde Chiquinquirá se accede por la vía que conduce hacia Otanche hasta el sitio conocido como Guanares, siguiendo por la carretera que conduce a la inspección de Zulia continuando desde allí hasta la escuela de Chaparral que limita con el polígono del contrato y continuando por la vía que se construyó hasta la mina y el río Minero. (Véase Figura 3 y Figura 4).

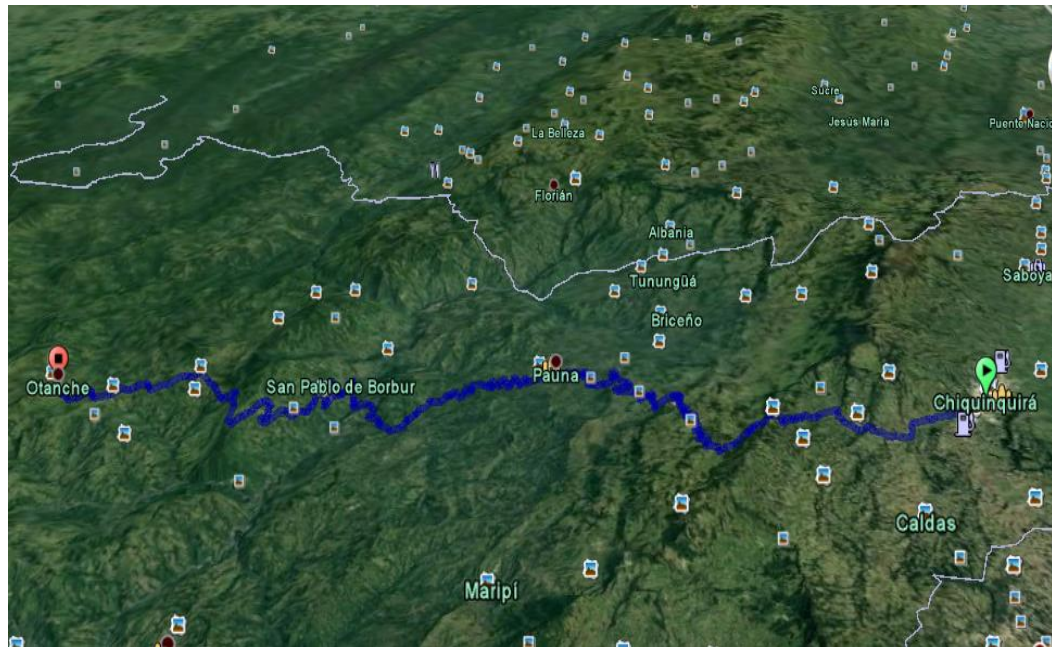


Figura 3. Vía Chiquinquirá-Otanche. Tomado de Google Earth

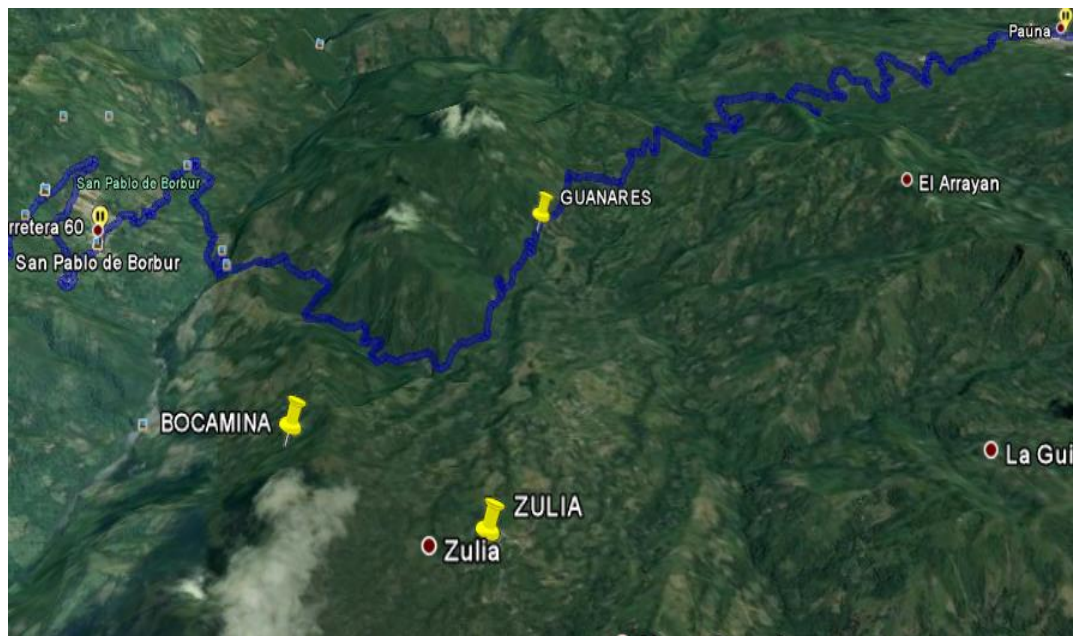


Figura 4. Guanares, desvío hacia la inspección de Zulia y localización de la Bocamina.  
Tomado de Google Earth



## 1.4. Hidrografía

La principal corriente hídrica del sector es el Río minero, que junto con sus afluentes forman parte de la cuenca del mismo nombre. (Véase Imagen 5)

La Microcuenca hidrográfica de la Quebrada Pupar es la más importante de la región aproximadamente con una extensión de 14.64 Kilómetros cuadrados que corresponde al 7.0% del área municipal, con una longitud en su brazo principal de 5.2 kilómetros. Limita por el norte con Zulia, por el este con la divisoria de aguas de las Quebradas Zapotal y Hoyina, por el sur con la Vereda Guazo, por el oeste con la divisoria de aguas del Río Minero.

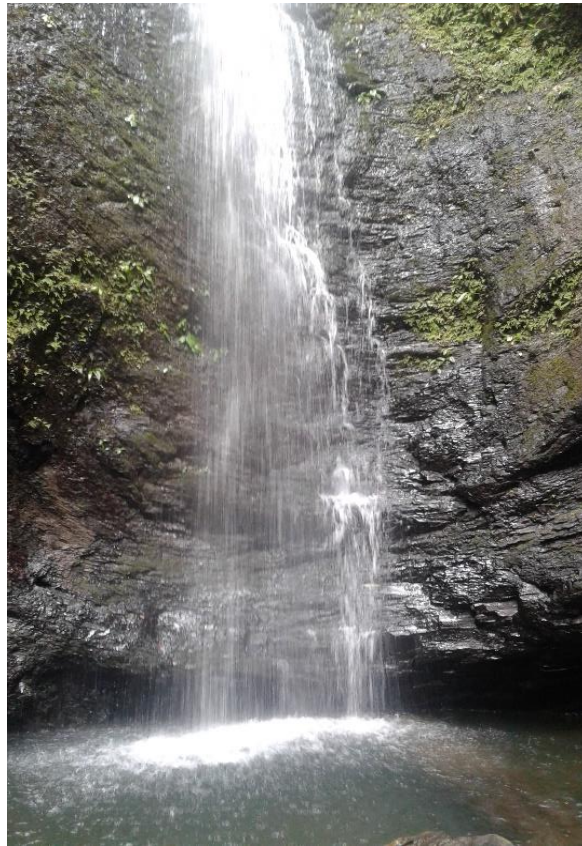
Los afluentes de la microcuenca de la Quebrada Pupar está conformada por las corrientes de las Quebradas Agua Blanca, Zapotal, la escuela, Colorada y Fogones. Cuenta además con otras corrientes de agua de menor importancia.<sup>9</sup>

En la zona de estudio la principal corriente es la Quebrada Caipala, la cual presenta grandes caídas de agua como se observa en la Imagen 6. También se presentan en la zona la Quebrada Paso Feo, Quebrada La Vueltiada, Quebrada Honda, Quebrada Chingaza y la Quebrada Punta Parra.



*Imagen. 5. Río Minero en su curso por la zona de estudio. Tomado por la autora desde el Sector que conduce hacia la Quebrada Caipala.*

<sup>9</sup> Tomado del Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Maripí, año 2000.



*Imagen. 6. Caída de agua en la Quebrada Caipala. Arcillolitas negras carbonosas. Tomado por la autora, coordenadas E: 1000581, N: 1113453, Altura: 459 m.s.n.m.*

## 1.5. Aspectos geomorfológicos

Geográficamente la zona se localiza hacia el piedemonte occidental de la Cordillera Oriental; morfológicamente toda el área es montañosa y se caracteriza por relieve moderado a fuerte, en general, con drenaje subparalelo y subdendrítico de densidad media, y desarrollo de valles juveniles. En algunos sectores la topografía se suaviza por la presencia de depósitos cuaternarios.

### 1.5.1. Formas de origen denudacional.

#### a) Conos de Eyección y Remoción en Masa (CRM).

Morfología generada por fenómenos de deslizamientos y reptación, los cuales tienden a desarrollar una forma de cono alargado. Las zonas más afectadas. Se



han orientado en taludes de las vías veredales o en las márgenes de la quebrada Yanacá y La Locha.

b) Colinas Denudadas (CD).

Morfología ondulada de pendientes cortas y alargadas con cimas redondeadas o filosas, moderadamente disectadas. Debido a la presencia de ganadería extensiva estos sectores están afectados por terracetos y localmente se empiezan a generar deslizamientos que afectan la capa superficial del suelo.

c) Montañas Denudadas (MD).

Zona montañosa muy ondulada y muy disectada; los drenajes presentan patrones de drenaje rectangular y detrítico, este sector es afectado por erosión laminar, terracetos y reptación.

d) Zonas Escarpadas. (ZE).

Caracterizadas por pendientes casi verticales por material rocoso. Se encuentran ubicadas en la margen derecha del Río Minero, Veredas Carrera, Guazo, Santa Rosa y Zulia.

## 1.5.2. Formas de origen estructural

a) Pendientes Escalonadas. (PE).

Morfología originada por la presencia de estratos inclinados, donde se presenta la alternancia de rocas duras que conforman escarpes y blandas que forman pendientes moderadas a muy inclinadas. Ésta Morfología es la que se presenta en el área de estudio como se observa en la Imagen 7.

## 1.5.3. Formas de origen fluvial

a) Lechos de ríos y Terrazas Bajas.

Morfología presente en los valles del Río Minero. Está conformada por los depósitos aluviales más recientes que se encuentran en su lecho.





*Imagen. 7. Formas de origen estructural, pendientes escalonadas en la zona de estudio.  
Tomado por la autora desde el Campamento.*

## 2. Metodología

### 2.1.1. Recopilación de información bibliográfica

En esta etapa se recopiló la información bibliográfica existente de la zona de estudio, información acerca de las formaciones litoestratigráficas y geología estructural en la zona de estudio y especialmente se recolectó información sobre la geología económica -historia, formación, variedades, entre otros de las esmeraldas-. Se cuenta con una topografía realizada a una escala 1:5.000

### 2.1.2. Trabajo en campo

#### 2.1.2.1. Reconocimiento en los alrededores de la mina Chaparral

En esta etapa se hizo un recorrido en superficie, debido a la exuberancia en la vegetación se hizo difícil encontrar los contactos en superficie entre las formaciones existentes.

Se realizaron 60 estaciones dentro del recorrido tomando datos de rumbo y buzamiento, de igual manera se realizaba una breve descripción macroscópica de la roca que se encontraba.

Las estaciones se realizaron preferencialmente por las quebradas y por las carreteras debido a que en estas zonas la roca se encuentra expuesta y se facilita la toma de datos. (Véase Imagen 8)





*Imagen. 8 Toma de datos de rumbo en la Quebrada La Vueltiada. Tomado por Yeison Barragan.*

En las estaciones que fue posible recolectar una muestra se hizo y se llevó al laboratorio con el fin de realizar una descripción macroscópica un poco más detallada. (Véase Imagen 9).



*Imagen. 9. Análisis de las muestras bajo el estéreo del Laboratorio de Petrografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tomado por Daniela Ocampo.*

Los datos que fueron recolectados se consignaron en la tabla que se encuentra en el Anexo 1.

En la Imagen 10 se observa un afloramiento sobre la carretera que conduce desde el campamento hasta Zulia de arcillolitas carbonosas con un color meteorizado gris claro y un color fresco gris oscuro con presencia de óxidos de hierro, correspondientes a la Formación Capotes.



*Imagen. 10. Estación GLRP-001. Arcillolitas carbonosas color gris oscuro.. Tomado por la autora sobre la Carretera que conduce desde el Campamento hacia Zulia.*

En la Imagen 11 se observa un afloramiento sobre la carretera que conduce desde el campamento hasta Zulia de lutitas de un color gris con óxidos de hierro, presentan un intenso fracturamiento producido por diaclasas; éstas lutitas corresponden a la Formación Muzo.





*Imagen. 11. Estación GLRP-003. Lutitas gris claro con óxidos de hierro. Tomado por la autora sobre la carretera que conduce del Campamento hacia Zulia.*

En la Imagen 12 se observa un afloramiento sobre la carretera que conduce desde el campamento hasta Zulia de arcillolitas grises casi perpendiculares a la estratificación, con presencia de óxidos de hierro, correspondientes a la Formación Furatena.



*Imagen. 12. Estación GLRP-004. Arcillolitas grises casi perpendiculares a la estratificación, con presencia de óxidos de hierro. Tomado por la autora sobre la Carretera que conduce del campamento hacia Zulia.*

En la Imagen 13 se observa sobre la carretera que conduce desde el campamento hasta Zulia un cambio entre arcillolitas negras a arcillolitas blancas por presencia de fluidos hidrotermales, correspondientes a la Formación Furatena.



*Imagen. 13. Estación GLRP-005. Cambio entre arcillolitas negras a arcillolitas blancas por presencia de fluidos hidrotermales. Tomado por la autora.*

En la Imagen 14 se observa sobre la carretera que conduce desde el campamento hasta Zulia un pequeño plegamiento en las lutitas de color gris oscuro, correspondiente a la Formación Furatena.



*Imagen. 14. Estación GLRP-006. Pequeño plegamiento lutitas gris oscuro. Tomado por la autora.*



En la Imagen 15 se observa en las coordenadas E: 1 002 143, N: 1 113 535, altura: 888 m.s.n.m. unas lutitas de color fresco gris oscuro, de color meteorizado gris claro con presencia de óxidos de hierro y presencia de calcita en cantidades considerables cubierta en gran parte por materia orgánica. El color de la calcita es un amarillo claro que indica una posible deshidratación, correspondientes a la Formación Muzo.



*Imagen. 15. Estación GLRP-008. Lutitas color fresco gris oscuro, color meteorizado gris claro con presencia de óxidos de hierro. Zona de brecha hidrotermal. Tomado por la autora.*

En la Imagen 6 se observa en las coordenadas E: 1 000 581, N: 1 113 453, altura: 459 m.s.n.m. en la Quebrada Caipala, arcillolitas carbonosas un poco más compactas y un plegamiento hacia la parte inferior, correspondientes la Formación Furatena.

En la Imagen 16 se observa en la coordenadas E: 1 000 984, N: 1 113 376, altura: 738 m.s.n.m. en la Quebrada Caipala, Lutitas compactas gris oscuro en estratos subhorizontales, correspondientes a la Formación Furatena.



*Imagen. 16 Estación GLRP-035. Quebrada Caipala, Lutitas compactas gris oscuro en estratos subhorizontales Tomado por la autora.*

En la Imagen 17 se observa en las coordenadas: E: 1 001 420, N: 1 114 539, altura: 509 m.s.n.m., arcillolitas color fresco gris oscuro y color gris rojizo meteorizado con presencia de caolín, correspondientes a la Formación Furatena.



*Imagen. 17. Estación GLRP-039. Arcillolitas color fresco gris oscuro, color meteorizado gris rojizo. Presencia de caolín. Tomado por la autora.*

En la Imagen 18 se observa en las coordenadas: E: 1 001 549, N: 1 114 496, altura: 508 m.s.n.m, arcillolitas físis carbonosas color gris oscuro a negro, presencia de veta de aproximadamente 5 cm de espesor de calcita color gris oscuro en algunas partes, correspondientes a la Formación Furatena.





Imagen. 18. Estación GLRP-051. Quebrada La Vueltiada Veta de calcita con aproximadamente 5 cm de espesor. Tomado por la autora.

## MUESTRAS RECOLECTADAS EN CAMPO

Tabla 2. Muestras recolectadas en campo. Elaborada por la autora.

MUESTRAS RECOLECTADAS EN CAMPO		
Estación	Tipo de Muestra	Imagen
GLRP-003	Lutita con presencia de goethita y limonita.	19
GLRP-005	Presencia de ópalo, goethita y limonita.	20
GLRP-005	Arcillolita con presencia de goethita y limonita.	21
GLRP-008	Presencia de calcita, goethita, limonita, moscovita y micas con litio (mierdeloro).	22
GLRP-008	Lutita con presencia de goethita, limonita y calcita. Muestra de una zona de brecha.	23
GLRP-051	Se observa inyecciones de calcita dentro de la lutita, también contiene pequeños rastros de goethita.	24





Imagen. 19 Estación GLRP-003. Lutita con presencia de goethita y limonita. Tomado por la autora.



Imagen. 20. Estación GLRP-005. Presencia de ópalo, goethita y limonita. Tomado por la autora.



*Imagen. 21. Estación GLRP-005. Arcillolita con presencia de goethita y limonita. Tomado por la autora.*



*Imagen. 22. Estación GLRP-008. Presencia de calcita, goethita, limonita, moscovita y micas con litio (mierdeloro) Tomado por la autora.*



*Imagen. 23. Estación GLRP-008. Lutita con presencia de goethita, limonita y calcita. Muestra de una zona de brecha. Tomado por la autora.*



*Imagen. 24 Estación GLRP-051. Se observa inyecciones de calcita dentro de la lutita; ésta contiene pequeños rastros de goethita. Tomado por la autora.*





## **2.1.2.2. Identificación de estructuras geológicas en la mina Chaparral**

En esta etapa se realizó una toma de datos estructurales a lo largo del túnel principal; cada 10 metros se tomaban entre 3 y 4 datos de rumbo y buzamiento y se realizó una breve descripción macroscópica de la roca que se presentaba consignando la información recopilada en el Anexo 2.

En el nivel principal presenta una longitud total de 327,3 metros en una dirección de  $185^\circ$  como se observa en la figura 29. Presenta 290 metros dentro de la Formación Furatena y 37,3 metros dentro de la Formación Muzo. En este nivel se tomaron 125 datos estructurales, los cuales variaban desde los  $4^\circ$  hasta los  $64^\circ$  en el rumbo en una dirección N-W dentro de la Formación Furatena y en el buzamiento variaba desde los  $17^\circ$  hasta los  $55^\circ$  en dirección S-W. En la Formación Muzo la dirección cambia hacia el NE variando desde los  $5$  y  $30^\circ$  y el buzamiento en una dirección SE variando desde los  $54^\circ$  hasta los  $67^\circ$ .

El nivel exploratorio presenta una longitud total de 248 metros en una dirección de  $144^\circ$  presentando 220 metros dentro de la Formación Muzo y 28 metros dentro de la Formación Capotes. Dentro de la Formación Muzo se presentan variación en el rumbo desde los  $20^\circ$  hasta los  $70^\circ$  en dirección N-E y en el buzamiento se presenta una variación desde los  $42^\circ$  hasta los  $80^\circ$  en dirección S-E. Dentro de la Formación Capotes se presenta una variación en el rumbo desde los  $46^\circ$  hasta los  $60^\circ$  en dirección N-E y en el buzamiento desde los  $50^\circ$  hasta los  $60^\circ$ .



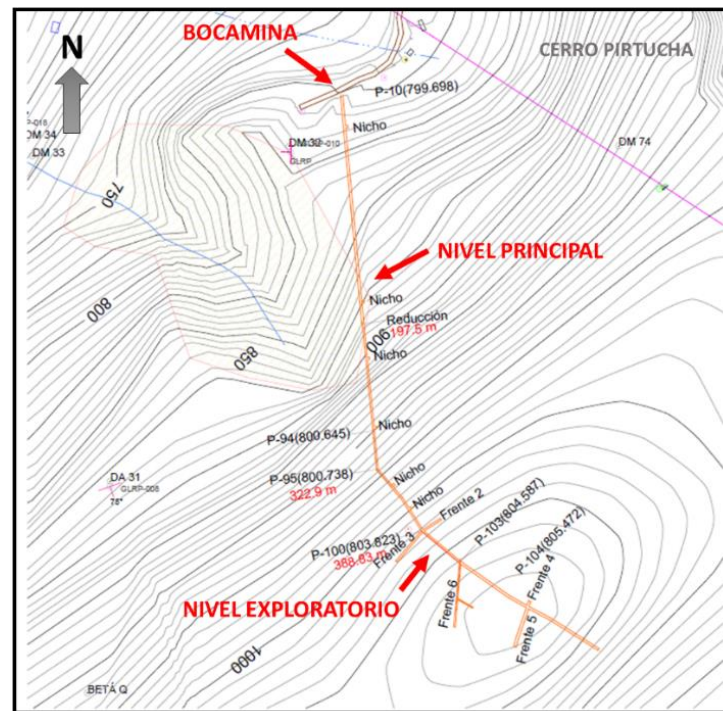


Figura 5. Esquema del nivel principal, del nivel exploratorio y de los frentes en el túnel Chaparral 2. Elaborado por la autora

Se identificó la Falla Pirtucha dentro del túnel principal en el primer nivel aproximadamente a los 290 metros con datos estructurales de rumbo y buzamiento N40E/70SE y la Falla Mina en el frente 6 a los 30 metros de avance de éste, con datos estructurales de rumbo y buzamiento N53W/56SW. De igual manera se identificaron a medida que se avanzaba las zonas de vetas y brechas que son en su mayoría de origen hidrotermal.



*Imagen. 25 Túnel en su nivel principal. Se observa en la parte superior un tubo de 16 pulgadas por el que circula el aire fresco hacia el interior de la mina y en la parte inferior un tubo de 3 pulgadas por el que circula el aire comprimido para el martillo y la perforadora. De igual manera se encuentra un riel por el que circulan los coches para el traslado del estéril a superficie y también abscisas que indican los metros dentro del túnel. Éste no presenta revestimiento, debido a que la roca es competente. Tomado por la autora.*

### **2.1.3. Generación del mapa geológico y cortes geológicos.**

En esta etapa se plasmaron los datos recolectados en campo y dentro del túnel en la topografía a escala 1:5.000. Los contactos entre las formaciones se realizaron proyectando los puntos desde el túnel, se realizaron los planos de contornos estructurales y se utilizó las reglas de las Vs. Este trabajo se realizó en primer lugar de manera manual utilizando elementos básicos del dibujo técnico, como son el uso de las escuadras para el trazo de los planos de contornos estructurales, un buen trazado de líneas, que permitan poder delinear los contornos, entre otros; esto es para su corrección y para después realizarlo de manera digital. Se tienen dos fallas de carácter local en la zona de estudio y una falla a nivel regional siendo ésta la falla del Río Minero.

Se realizaron 5 cortes geológicos básicamente de forma perpendicular y paralela al nivel principal y al nivel exploratorio en la Bocamina Chaparral 2 y en el túnel en la Bocamina Chaparral 1.

Hay que tener en cuenta que en la zona existe un túnel antiguo hacia la parte occidental de la zona de estudio al que llamaremos de aquí en adelante Túnel Bocamina 1, en el que sus actividades ya cesaron debido a que no dio resultados porque no se llegó a la Formación Muzo, esto causado por el desconocimiento de la estructura que presenta la Formación Muzo y a la localización de éste túnel. Durante los trabajos de campo éste túnel se encontraba cerrado razón por la cual no se pudieron tomar datos. También se elaboraron perfiles paralelos a cada uno de los túneles en la Bocamina Chaparral 1 y Bocamina Chaparral 2, abarcando en su totalidad el recorrido de éstos, pudiendo de ésta manera tener una idea más clara de la geología que se presenta en cada uno de los túneles.

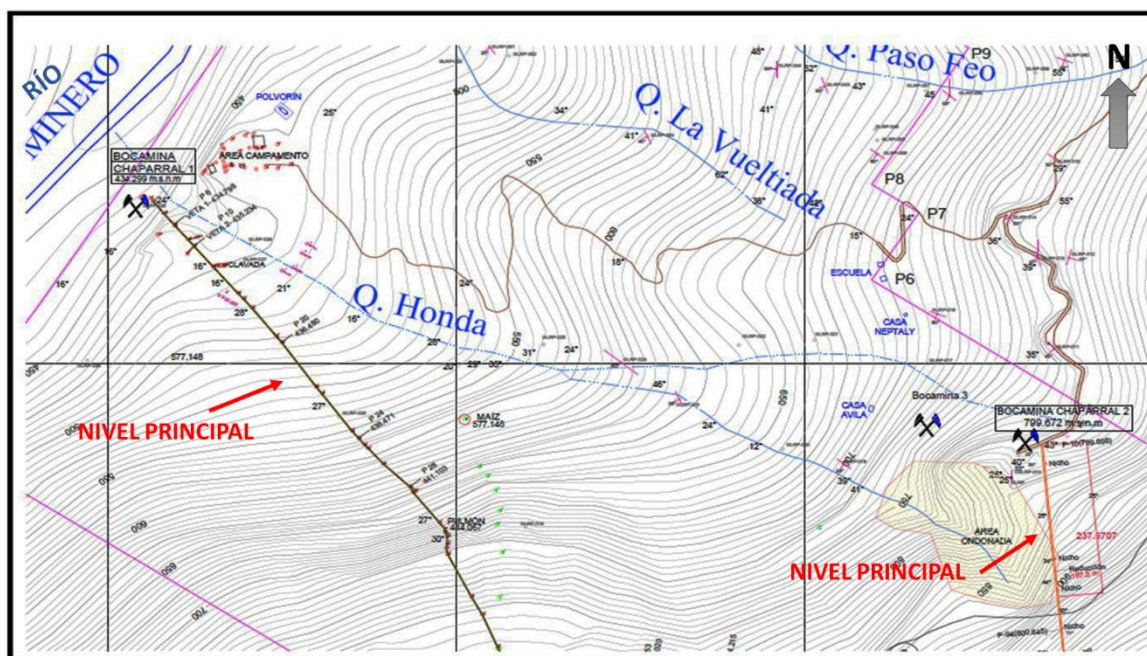


Figura 6. Localización Bocamina Chaparral 1 y Bocamina Chaparral 2. Elaborado por la autora.

## 2.1.4. Interpretación y análisis de la información recolectada en campo.

En el mapa geológico que se muestra en el Anexo 9, se evidencia la Formación Furatena hacia el lado occidental, en el centro la Formación Muzo y hacia el lado oriental la Formación Capotes, el polígono de concesión se encuentra delimitado por un color magenta en el centro del mapa. Se muestran 2 estructuras plegadas importantes a nivel regional como lo son el Anticlinal de Furatena y el Sinclinal de



Furatena. Así mismo se muestran 2 fallas importantes a nivel local como son la Falla Pirtucha que sigue el contacto entre la Formación Furatena y la Formación Muzo y la Falla Mina que corta la Formación Muzo de manera perpendicular; la Falla del Río Minero es una falla de origen Regional que sigue el lineamiento del Río Minero.

Vale la pena explicar en esta parte que en el mapa geológico con el que contaba la empresa se encontraba la Falla Cerro Alto del Negro en el área de estudio la cual en éste mapa fue omitida, ya que no se encontraron evidencias de ésta en campo, por otro lado tenía una dirección W-E que no tenía concordancia con la dirección que siguen las estructuras en la zona que es una dirección NE-SW siguiendo la dirección de la Cordillera Oriental; pero no se descarta hacer estudios detallados en la zona de influencia que tenía esta falla con el fin de comprobar si realmente existe o no.

Con la elaboración de los cortes geológicos se puede tener una idea más clara de lo que pasa a profundidad con las Formaciones presentes en el área de estudio.

El perfil A-A' que se muestra en la Figura 7, se realizó de manera paralela al nivel principal en la Bocamina Chaparral 2 abarcando una parte de éste. Muestra la falla de Pirtucha que es una falla de tipo inverso la cual levanta el bloque oeste y el bloque este se hunde. Los contactos entre las formaciones son inferidos debido a que la Formación Muzo posee un buzamiento inicial entre 30 y 40° y a medida que se profundiza se va haciendo más recto hasta alcanzar los 70° en algunas ocasiones incluso los 80°. La Formación Muzo presenta un espesor de 244 metros.

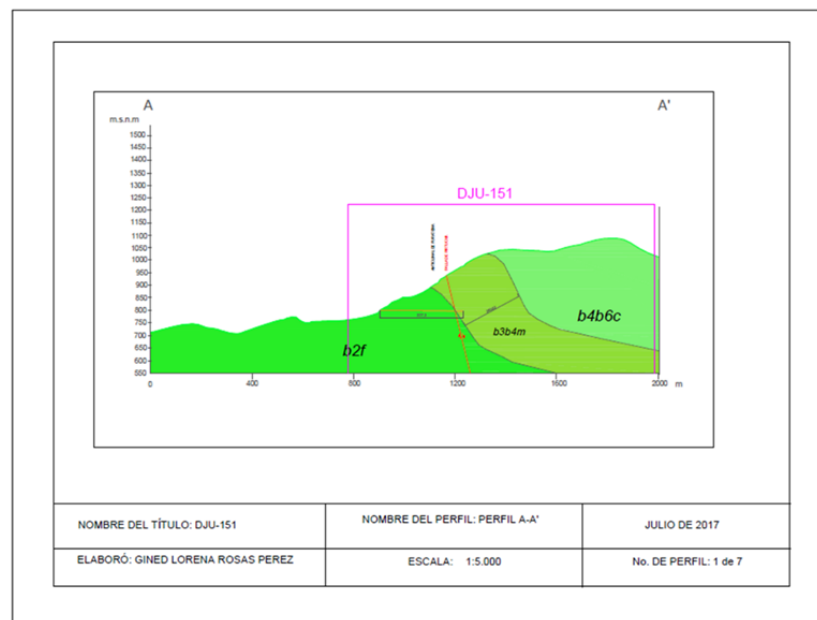


Figura 7. Perfil A-A'. Elaborado por la autora.



El perfil B-B' que se muestra en la Figura 8, se realizó de manera perpendicular al nivel principal en la Bocamina Chaparral 2 mostrando la Falla Pirtucha que es una falla de tipo inverso la cual levanta el bloque oeste y el bloque este se hunde y la Falla Mina que es una falla de rumbo. La Formación Muzo muestra un espesor de 675 metros aproximadamente esto debido a que el perfil corta de manera diagonal a la Formación. La falla de Pirtucha pasa aproximadamente a 197 metros del nivel principal.

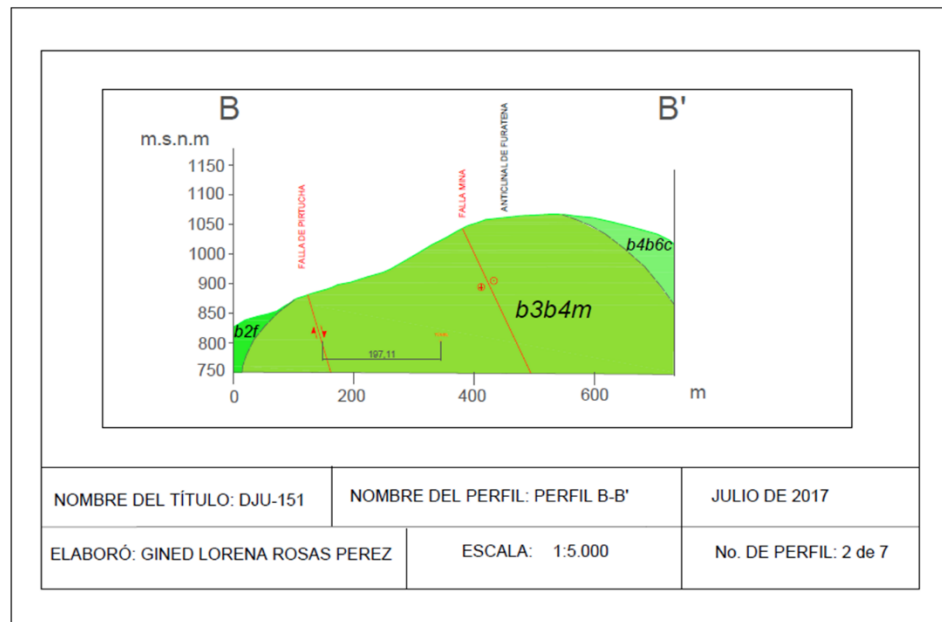


Figura 8. Perfil B-B'. Elaborado por la autora.

El perfil C-C' que se muestra en la Figura 9, se realizó de manera paralela a una parte del nivel principal en la Bocamina Chaparral 1 mostrando la Falla Pirtucha que es una falla de tipo inverso la cual levanta el bloque oeste y se hunde el bloque este y la falla Mina que es una falla de rumbo. Este perfil muestra un gran espesor de la Formación Furatena de aproximadamente 850 metros y el espesor de la Formación Muzo de aproximadamente 300 metros. Si se hubiera seguido el túnel antiguo en la dirección que se tiene a 187 metros aproximadamente se encontraría la Falla de Pirtucha. Hay que tener en cuenta que estos datos varían por la dirección en que se hizo el perfil.

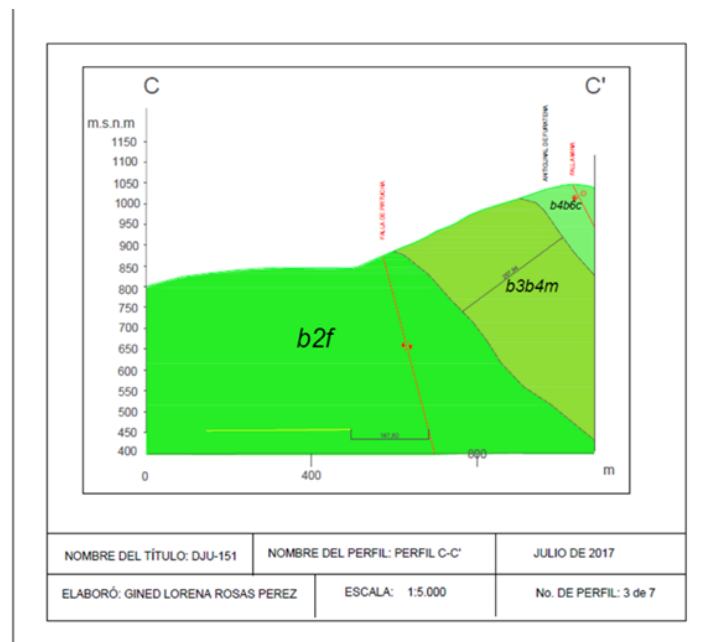


Figura 9. Perfil C-C'. Elaborado por la autora.

El perfil D-D' que se muestra en la Figura 10, se realizó de manera paralela a una parte del nivel principal en la Bocamina Chaparral 1, mostrando la Falla del Río Minero que es una falla de cabalgamiento la cual levanta el bloque oeste y hunde el bloque este y la falla de Pirtucha que levanta el boque oeste y hunde el bloque este. El espesor aproximado de la Formación Muzo es de 315 metros por la dirección en la que está realizado el perfil.

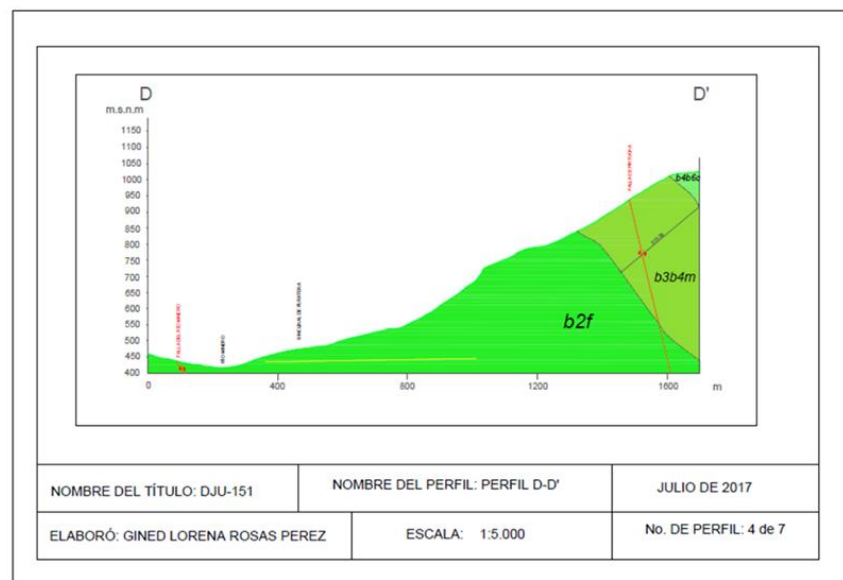


Figura 10. Perfil D-D'. Elaborado por la autora.

El perfil E-E' que se muestra en la Figura 11, se realizó de manera paralela a un tramo del nivel exploratorio en la Bocamina Chaparral 2. Se muestra la falla de Pirtucha que es una falla de tipo inverso la cual levanta el bloque oeste y hunde el bloque este y la falla Mina que es una falla de rumbo. La Formación Muzo presenta un espesor aproximadamente de 324 metros.

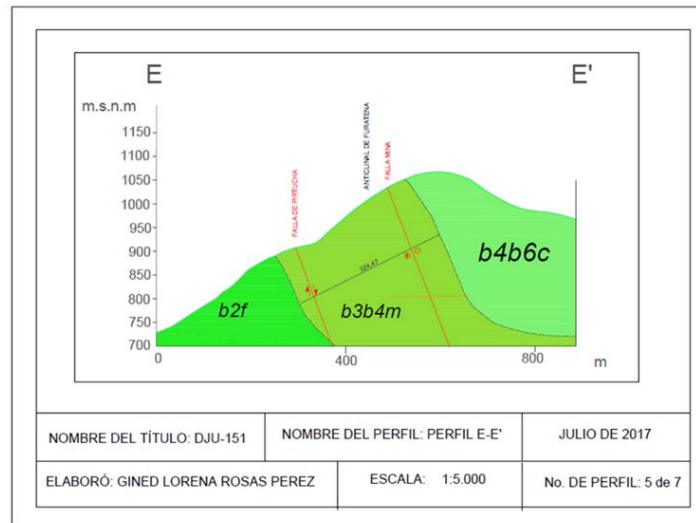


Figura 11. Perfil E-E'. Elaborado por la autora.

El perfil A-E' que se muestra en la Figura 12, se realizó de manera paralela al túnel en la Bocamina Chaparral 2 abarcando la totalidad de su recorrido. Se muestra la falla de Pirtucha que es una falla de tipo inverso la cual levanta el bloque oeste y hunde el bloque este y la falla Mina que es una falla de rumbo. Dentro de éste túnel la Formación Furatena tiene un espesor de 290 metros, el contacto con la Formación Muzo es fallado, la Formación Muzo tiene un espesor de 257,3 metros aproximadamente y la Formación Capotes tiene un espesor de 28 metros aproximadamente.

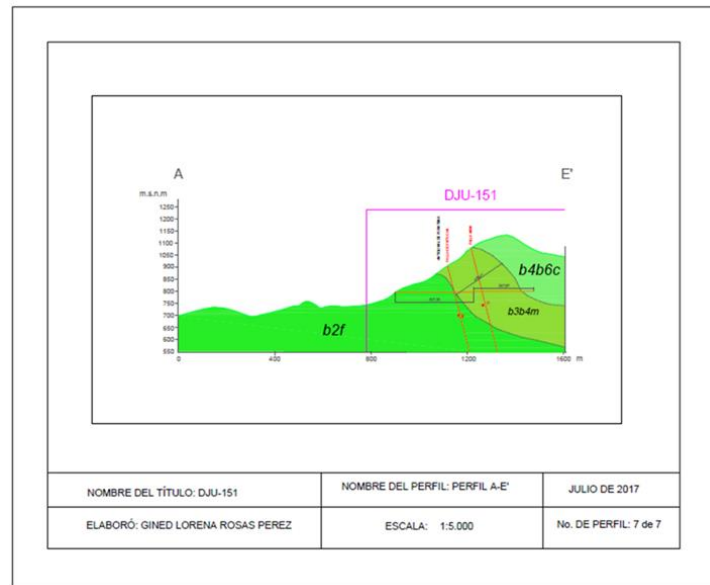


Figura 12. Perfil A-E'. Elaborado por la autora.

El perfil D-C' que se muestra en la Figura 13, se realizó de manera paralela al túnel en la Bocamina 1. El recorrido de este túnel se hace solamente dentro de la Formación Furatena con 1385 metros, aún se necesitaban aproximadamente 402 metros más para llegar a la Formación Muzo. La formación Muzo tiene un espesor aproximado de 304 metros.

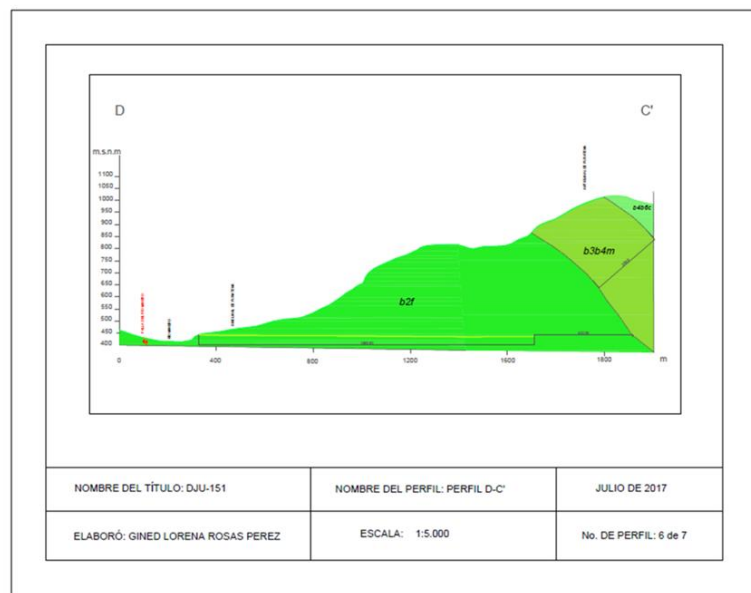


Figura 13. Perfil D-C'. Elaborado por la autora.





Los anteriores perfiles muestran la acertada decisión de la Empresa en la reubicación del túnel en la Bocamina Chaparral 1, ya que con éste no se mostraban muchas facilidades para llegar a cortar la Formación Muzo, esto ya había acarreado 1385 metros y sacar el material a superficie y avanzar se hacía más complicado sin ver el resultado esperado. Con un nuevo túnel no se necesitaban tantos metros para atravesar la Formación Muzo y poder explorar cada veta, brecha o zona que fuera apareciendo a medida que se avanzara.

Se observa que la Formación Muzo va alcanzando una horizontalidad después de alcanzar a llegar a verticalizarse, esto se asume en base al perfil A-A' que se encuentra en la Plancha 190 Chiquinquirá en la cual los flancos del Anticlinal de Furatena se van haciendo horizontales, lo cual no tendría mucho sentido seguir asumiendo una verticalidad en ésta Formación, además que queda siempre la incógnita de cómo se comportan los estratos realmente.

### **2.1.5. Elaboración y presentación del informe final.**

La elaboración del informe final consta básicamente de organizar la información bibliográfica y la información tomada en campo para poder darle cuerpo al trabajo siguiendo las normas para la presentación de informes de tesis o trabajos de investigación y poder empezar la elaboración de éste con el fin de presentarlo al director de la práctica en primera medida y en seguida de hacer los ajustes correspondientes presentarlo a la Escuela de Ingeniería Geológica.



### 3. Aspectos geológicos regionales

El área de estudio está ubicada en la Cordillera Oriental, la cual está caracterizada por un basamento constituido por rocas ígneas y metamórficas de edad Precámbrico y Paleozoico, el cual ha sufrido múltiples episodios deformativos durante eventos orogénicos pre-Mesozoicos. Éste basamento está suprayacido por una secuencia sedimentaria de gran espesor, de edad Mesozoico y Cenozoico, la cuales, a su vez, han sido fuertemente deformadas durante el Neógeno por fallamientos y plegamientos (Taboada et al., 2000).

El Valle del Magdalena, la Cordillera Oriental y los Llanos Orientales constituyeron una secuencia sedimentaria importante desde el Triásico hasta el Mioceno Medio. El desarrollo de la cuenca se inició durante el Triásico hasta principios del Cretácico con una megasecuencia synrift relacionada a la separación de Norte y Sur América en el proto-Caribe. El desarrollo de la cuenca continuó durante el Cretácico en un ambiente tectónico de barck-arc al este de la subducción Andina con un predominio de una sedimentación marina (Cooper et al., 1995). La invasión marina de principios del Cretácico tuvo lugar en lo que hoy es la parte central de la Cordillera Oriental y el Valle del Magdalena, indicando que ésta zona constituyó un gran depocentro durante ésta época y por lo que muestran las reconstrucciones paleogeográficas realizadas por (Etayo et al., 1997), ésta condición se mantuvo durante la mayor parte del Cretácico Inferior.

En el contexto de esa importante subsidencia del Cretácico Inferior, tuvo lugar la depositación de los sedimentos que hoy constituyen las unidades sedimentarias aflorantes en el área de estudio: Formaciones Rosablanca, Furatena, Muzo y Capotes, entre otras (Reyes et al., 2006).

La depositación marina fue interrumpida durante el Maastrichtiano Superior debido a la acreción final de los fragmentos de corteza oceánica de la Cordillera Occidental. Esta fase inicial pre-Andina provocó deformación en el Valle Superior del Magdalena y el segmento sur de la Cordillera Oriental (Cooper et al., 1995 y Taboada et al., 2000) Posteriormente, durante el Eoceno Temprano a Medio (Climax de la orogenia pre-Andina) se presentó otra fase tectónica que provocó cabalgamientos y plegamientos con vergencia hacia el oeste en el Valle Medio del Magdalena (Taboada et al., 2000). Una última fase de deformación, relacionada fundamentalmente con el levantamiento de la Cordillera Oriental, tuvo lugar durante



el Mioceno temprano, la cual es una fase conocida en la bibliografía especializada con la Orogenia Andina (Cooper et al., 1995; Taboada et al., 2000).

Además de estas fases tectónicas, también se identifica una última fase pre-Andina durante inicios del Oligoceno, caracterizada por cabalgamientos y plegamientos a lo largo de los flancos de la Cordillera Oriental (Branquet et al., 1999 en Taboada et al., 2000). Durante las fases del Eoceno-Oligoceno, probablemente ocurrió deformación transpresiva destal a lo largo de los sistemas de fallas de Romeral y Salinas como resultado de la convergencia oblicua entre la placa Paleo-Caribe y el Noroeste de Suramérica. La acreción del terreno San Jacinto parece correlacionarse con estas fases deformativas (Duque-Caro, 1984 en Taboada et al., 2000).

El inicio de la deformación Andina en la Cordillera Oriental durante el Mioceno Medio, aisló el Valle del Magdalena de la Cuenca de los Llanos (Cooper et al., 1995). Esta deformación se debió a la acreción del arco Baudó-Panamá, que al parecer bloqueó la subducción oceánica normal de la Placa Caribe debajo del continente, provocando que la velocidad de convergencia entre las placas disminuyera de modo que la deformación activa se trasladó hacia el este, hacia zonas de la litosfera continental debilitadas por la misma subducción de bajo ángulo y finalmente acomodó el acortamiento de esta deformación a lo largo de las cuencas extensionales Mesozoicas por medio de la inversión de fallas normales antiguos. El acortamiento de la litosfera continental está asociada con una subducción de buzamiento E-SE de la placa Paleo-Caribe debajo de la Cordillera Oriental (Taboada et al., 2000).

La zona de estudio pertenece al segmento central de la Cordillera Oriental el cual incluye la Sabana de Bogotá y sus Piedemontes Oriental y Occidental, en los cuales se observan fallas inversas buzando hacia la Cordillera. El levantamiento principal en el área de la Sabana de Bogotá ocurrió entre 3 y 5 Ma, según los datos palinológicos de depósitos del Plioceno (Helses y Van der Hammen, 1995 en Taboada et al. 2000), aunque deformaciones compresivas anteriores se pueden identificar en esta zona, en especial del Mioceno, en la zona axial de la Cordillera Oriental. En ésta, las rocas sedimentarias plegadas están suprayacidas por depósitos del Plioceno inclinados con una pronunciada inconformidad angular (Taboada et al., 2000).<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Tomado de Maya, Buenaventura & Salinas. 2004.

## 4. Estratigrafía

### 4.1. Estratigrafía regional

El área se encuentra dentro de la plancha 190- Chiquinquirá donde existen afloramientos de rocas sedimentarias principalmente que van desde el Valanginiano hasta el Cuaternario.

De manera regional se encuentran las siguientes formaciones desde la más antigua a la más reciente.

#### 4.1.1. Formación Rosablanca (K<sub>1</sub>ro)

El término Rosablanca fue utilizado por Wheeler, 1929 (inédito) en Morales et al. (1958), para referirse a una serie de bancos de caliza. Su nombre deriva del Cerro Rosablanca ubicado a unos 5 Km. al N del ángulo de la Concesión De Mares (Julivert et al, 1968). Moreno (1985) midió una sección de 175 m de esta unidad en la vía entre Florián y La Venta, en límites de los departamentos de Boyacá y Santander (Plancha 170). Allí la Formación Rosablanca aflora en un área de aproximadamente 80 Km. y está conformada por calizas negras a gris verdosas con intercalaciones de lodolitas calcáreas laminadas y gruesas calizas mudstones y wackestone.

Dentro de la plancha 190-Chiquinquirá, la Formación Rosablanca se encuentra expuesta en el sector noroeste, cubriendo un área aproximada de 11 kilómetros cuadrados, sus mejores afloramientos están localizados sobre la carretera que de San Pablo de Borbur conduce a Otanche.

##### 4.1.1.1. Litología

La Formación Rosablanca está constituida por bancos de caliza micrítica maciza de color gris oscuro, en capas hasta de 2m de espesor. En el análisis petrográfico efectuado dio como resultado que la roca está conformada por matriz micrítica dentro de la cual se encuentran flotando granos aloquímicos compuestos por pellets calcáreos, de un tamaño máximo de 0.17mm. redondeados y subprismáticos (los cuales muestran proceso de recristalización, pasando de calcita originalmente



micrítica a microesparita en mosaico) e intraclastos redondeados, esféricos, tamaño arena muy fina. Como cemento se encuentra microesparita, en mosaicos de cristales muy finos. El material terrígeno es común en la muestra siendo incluso más abundante que los granos aloquímicos. Esta fracción terrígena se compone principalmente de granos bien seleccionados de cuarzo microcristalino, muscovita y opacos. Esta muestra de roca se clasificó como micrita pelletal (Folk, 1962).

#### **4.1.1.2. Posición estratigráfica y edad**

La Formación Rosablanca yace concordantemente sobre la Formación Cumbre, en la Plancha 170. El contacto con la suprayacente Formación Paja en el área no fue observado pero se cree que es también concordante (Ulloa y Rodríguez, 1991).

Para Cardozo & Ramírez (1985), el contacto de la Formación Rosablanca con la Formación Ritoque es transicional entre micritas y lodolitas terrígenas. Burgl (1954 a, p.11) ha considerado para la Formación Rosablanca una edad Valanginiana, de acuerdo a la fauna recolectada sobre el río Cane, en la parte transicional superior de las calizas. Etayo (1968) considera que la edad de esta formación es Valanginiano Superior teniendo en cuenta que los “Shales Negros y areniscas grises” sean Valanginiano inferior y que la edad de la Formación Ritoque sea Hauteriviano inferior.

#### **4.1.1.3. Interpretación paleoambiental**

Por el bajo aporte de material terrígeno la Formación Rosablanca pudo haberse depositado en una plataforma sublitoral, como puede ser una plataforma muy amplia y de pendiente muy suave (Cardozo y Ramírez, 1985).

### **4.1.2. Formación Ritoque**

El nombre fue propuesto por Etayo (1968a) para designar un conjunto de limolitas grises, micáceas con tonos rojizos por meteorización, en alternancia con areniscas de grano fino, arcillolitas y calizas lumaquéllicas. Su nombre proviene de la Quebrada Ritoque, al NE de Ráquira.

La Formación Ritoque aflora en el extremo nororiental de la Plancha 190, constituyendo el núcleo del Anticlinal de Tinjacá en su prolongación norte.

#### **4.1.2.1. Litología**

En la sección de la carretera Monquirá-Arcabuco (Plancha 170) consta de una sucesión de limolitas grises micáceas con tonalidades amarillentas rojizas por



meteorización, con intercalaciones de arcillolitas calcáreas. El espesor aproximado es de 125m.

#### **4.1.2.2. Posición estratigráfica y edad**

En el sector del río Cane se observó la Formación Ritoque suprayaciendo concordantemente a la Formación Rosablanca, mientras que en el flanco oeste del Anticlinal de Coper se encontraron las lutitas negras basales de la Formación Paja en contacto concordante con la Formación Rosablanca.

La edad de la Formación Ritoque ha sido considerada por Etayo (1968) como Hauteriviano Inferior.

#### **4.1.2.3. Interpretación paleoambiental**

En cuanto al ambiente de depósito Etayo (1968b) destaca dos hechos fundamentales que son notables hacia el oriente: la presencia de altos topográficos y una mayor acción dinámica del medio sedimentario. En un trabajo posterior, Etayo (1978) plantea la idea de interpretar la unidad como depositada en una bahía somera de aguas tranquilas y cálidas donde se acumularon limos en una entrada costera desarrollada después o contemporáneamente con el final de la sedimentación de las calizas de la Formación Rosablanca.

#### **4.1.3. Formación Paja (K1p)**

El nombre fue dado por Wheeler, O.C., en Morales et al. (1958), para designar una sucesión estratigráfica compuesta principalmente por lutitas negras, micáceas con concreciones arenosas, ligeramente calcáreas, que contienen fauna principalmente de amonitas. Su nombre deriva de la quebrada La Paja, afluente del río Sogamoso entre Bucaramanga y San Vicente (Julivert et al., 1968). En la Plancha 190-Chiquinquirá la Formación Paja aflora en dos sectores uno al noroeste y el otro al noreste en áreas bastante extensas de muy buenos afloramientos.

##### **4.1.3.1. Litología**

En el sector noreste de la plancha, la Formación Paja se encuentra formando el núcleo del anticlinal de Tinjacá, en un área que ha sido ampliamente trabajada por varios geólogos y paleontólogos. Etayo (1968) divide la unidad en tres segmentos:



- a) Lutitas Negras Inferiores. Localizada en la parte noreste del área y constituida por arcillolitas de diferentes colores con presencia de nódulos que contienen fósiles interestratificadas con niveles de areniscas silíceas y con la presencia de yeso.
- b) Arcillolitas Abigarradas. Es una secuencia de arcillolitas con cristales, nódulos, láminas de yeso evaporítico e interestratificaciones calcáreas con estructura algáceas. La presencia de estos rasgos sugiere que la sedimentación de esta unidad ocurrió en llanuras salinas de marea, (Forero et al., 1985).

Forero et al. (1985) realizaron trabajos estratigráficos con bastante detalle sobre este miembro dividiéndolo en cinco segmentos y teniendo presente el contenido y abundancia de intercalaciones calcáreas, yeso y fósiles. El espesor medido para las arcillolitas abigarradas varía entre los 193 y 299m de espesor, que disminuye en sentido este-oeste; medida que fue realizada en el sitio Loma Monsalve. El mayor contenido de fósiles se encuentra en el segmento superior y en lomas La Catalina y La Cabrera representada esta fauna por amonitas, bivalvos, reptiles, Gasteópodos y esqueletos de peces, además de troncos y ramillas de coníferas.

La edad de este miembro ha sido considerada del Barremiano-Aptiano datada bioestratigráficamente por Etayo (1968 b, c).

- c) Arcillolitas con Nódulos Huecos. Está representada por arcillolitas abigarradas de color rojo a amarillo, con abundantes nódulos arcillosos e intercalaciones de arcilla color blanca y lustrosa. Este miembro se extiende cubriendo las lomas de Tinjacá, Sutamarchán y Sáchica.

La litología de la Formación Paja en el sector oeste de la plancha no ha sido estudiada con detalle como la del sector de Villa de Leiva, solamente se conocen trabajos puntuales y enfocados hacia la minería de esmeraldas.

#### 4.1.3.2. Edad y posición estratigráfica

Las sedimentitas de la Formación Paja el área de Guane, reposan en contacto neto y sobre la última capa de biomicrita de la Formación Rosablanca (Zamarreño, 1963), contacto que consideramos se mantiene en el área de la plancha 190; el contacto superior se marca en el tope de las sedimentitas de la Formación Paja y en la base de los paquetes de arenisca de la Formación Tablazo en contacto neto concordante.

Bioestratigráficamente la Formación Paja ha sido datada por Etayo (1968a) como Aptiano superior para el área de estudio, mientras que en cercanías de Barichara

(W del corregimiento de Guane), la base de la Formación Paja está representada por el Barremiano inferior, de acuerdo con la distribución y asociación de especies de amonitas pertenecientes a los géneros Nicklesia, Pseudohaploceras, Valdedorsella y Karsteniceras (Patarroyo, 1997).

#### **4.1.3.3. Interpretación paleoambiental**

Etayo (1968a) considera que la Formación Paja se depositó en un ambiente marino, de aguas poco profundas y circulación restringida, lo que causaría que la única estructura sedimentaria que se daría sea la laminación plana paralela muy fina. Un ambiente de depósito más probable pudo haber sido un offshore, por debajo del nivel de acción de las tormentas, ya que no se encuentran evidencias de retrabajamiento por tormentas y mucho menos por olas.

#### **4.1.4. Formación Tablazo (K1t)**

El nombre de la Formación Tablazo fue dado por Wheeler, 1929 (en Morales et al., 1958) para designar una serie de calizas y lodolitas calcáreas fosilíferas, macizas, con predominio de calizas en la parte alta y lodolitas calcáreas en la parte baja, que afloran en la población de El Tablazo, en el lado norte del río Sogamoso. Para la región de Villa de Leiva, Etayo (1968a) determina para la Formación Tablazo ("Formación San Gil Inferior"-conjunto arenoso-calcáreo), un espesor de 480 m.

La Formación Tablazo aflora en el área de estudio concordantemente con los estratos de la Formación Paja y se caracteriza por presentar topografía escarpada que contrasta con la morfología suavemente ondulada de las unidades infra y suprayacentes.

##### **4.1.4.1. Litología**

Ulloa & Rodríguez (1991) hacen la descripción litológica de esta unidad al noroeste de la población de Sutamarchán (10A). En este sector la unidad tiene un espesor de 455.5m y se ha subdividido en los siguientes conjuntos:

- a)** 7,50 m de areniscas arcillosas muscovíticas, de grano fino, ferruginosas, estratificadas en bancos hasta de 1 m de espesor.
- b)** 78 m de lutitas, limolitas negras, con intercalaciones de cinco bancos de calizas grises oscuras, con espesores que varían entre 0,20 y 2,50 m
- c)** 60 m de areniscas arcillosas micáceas de grano fino, ferruginosas en estratos de 0,50 m con intercalaciones de lutitas grises oscuras a negras.
- d)** 27 m de lutitas grises micáceas con intercalaciones de limolitas.



- e) 12 m de areniscas arcillosas micáceas, de grano fino, grises claras con delgadas intercalaciones de lutitas y limolitas; 8 m de lutitas micáceas de color gris oscuro y 7 m de calizas negras arenosas hacia la base.
- f) 140 m de lutitas negras, limolitas grises claras a oscuras con delgadas intercalaciones de areniscas arcillosas y calizas oscuras.
- g) 116 m compuestos en su base por 11 m de areniscas arcillosas micáceas amarillentas con intercalaciones de lutitas micáceas grises; la parte media la conforman 95 m de lutitas y limolitas grises claras a oscuras con delgadas intercalaciones de areniscas arcillosas ferruginosas y calizas arcillosas; su tope lo constituyen 10 m de areniscas arcillosas de grano fino amarillentas.

#### 4.1.4.2. Posición estratigráfica y edad

El contacto inferior como se describió en la anterior unidad es neto y concordante y el contacto superior con la Formación Simití está marcado en el tope de la última capa de arenisca y la base de las arcillolitas de la Formación Simití, siendo neto y concordante.

La edad de la Formación Tablazo es considerada como Aptiano Superior a Albiano Inferior, basado en su posición estratigráfica entre las formaciones Paja y Simití. Etayo (1968a) con base en fauna de amonitas colectada en el área de Sáchica-Puente Samacá considera la Formación San Gil Inferior (equivalente a la Formación Tablazo) como Aptiano Superior- Albiano.

#### 4.1.4.3. Interpretación paleoambiental

La Formación Tablazo se depositó en un ambiente marino de poca profundidad, cercano a la línea de costa. De acuerdo con Moreno & Sarmiento (2002), la Formación Tablazo registra principalmente fondos de depósito energéticos y oxigenados con marcada influencia calcárea, correspondientes a frentes de playa que se desarrollan en un patrón de ciclos o parasecuencias donde las superficies de profundización se mantienen en mar abierto proximal.

### 4.2. Estratigrafía local

La estratigrafía local está compuesta por tres formaciones del cretácico inferior abarcando desde el Valanginiano con la formación Furatena, Hauteriviano-Barremiano con la formación Muzo hasta el Aptiano tardío-Albiano temprano con la formación Muzo. En el Anexo 3 se encuentra una columna estratigráfica generalizada del área de estudio.



#### 4.2.1. Formación Furatena (b2f)

La Formación Furatena fue definida por Reyes et al. (2006), para agrupar rocas siliciclásticas de edad Valanginiano (Etayo Serna); tiene un espesor de 1.083 m en su localidad tipo y se encuentra suprayaciendo a micritas de la Formación Rosablanca e infrayaciendo a la unidad calcáreosiliciclástica denominada Formación Muzo de edad Hauteriviano-Barremiano (Véase Anexo 4).

Esta formación infrayace la formación Muzo (rocas que constituyen el sector de Peña Coscuez). Se observa ampliamente, desde la población de Pauna hasta el municipio de Florián, también aflora en el sector de Peñas Blancas y en La Palma forma los flancos del Anticlinal La Palma – Borbur y del Sinclinal de Santa Bárbara-Río Pescadero. Al sur, en la carretera Yacopí – La Glorieta, hace parte del anticlinal de Yacopí, del Cerro de las Tetras y sus alrededores y en las proximidades de la población de Ibama donde hace parte del núcleo del Anticlinal de Ibama.

En el área de estudio se identificaron seis segmentos de la formación Furatena y presenta un espesor de 800 metros:

El primer segmento (80 m) compuesto por arcillolitas de color gris medio a oscuro en capas muy gruesas, con laminación fina, plana, paralela y continua, le sigue una sucesión de arcillolitas carbonosas físciles de color gris oscuro.

El segundo segmento (70 m) compuesto por lodolitas compactas grises en capas medias a gruesas. Laminación plana paralela continua a ondulosa. Es común encontrar yeso, pirita diseminada y óxidos de hierro.

El tercer segmento (90 m) compuesto por lodolitas silíceas en capas medias a gruesas, le siguen limolitas con delgadas intercalaciones de arcillolita carbonosa, hacia la parte media y superior se intercalan limolitas calcáreas con lodolitas.

El cuarto segmento (230 m) presenta arcillolitas grises a grises oscuras, con niveles arenosos en capas de 20 cm intercaladas con limolitas grises, laminación plana paralela continua, le siguen arcillolitas carbonosas y lodolitas fisiles. Lodolita calcárea gris en capas medianas, delgadas y gruesas; se presentan concreciones calcáreas y pirita diseminada. Sucesión lodo-arcillosa donde se observan algunas intercalaciones de arenitas y limolitas. En la base se presentan capas gruesas y medianas de arcillolitas intercaladas con esporádicas capas gruesas de lodolitas, con tonos grises.

El quinto segmento (150 m) compuesto por lodolitas grises, silíceas laminadas en capas lenticulares delgadas a medias con esporádicos lentes de arenita gris clara de grano muy fino. Lodolitas grises finamente laminadas, en capas lenticulares a tabulares, con delgadas intercalaciones de limolita gris silícea, moderadamente



dura. En todo el segmento, la laminación es ondulada no paralela continua, se observan sulfuros y yeso en láminas.

En el sexto segmento (180 m) se presentan lodolitas calcáreas en capas medias a gruesas, laminación ondulada no paralela discontinua intercalada con esporádicas capas medias de caliza, presenta concreciones calcáreas, nódulos de pirita, láminas de yeso y sulfuros oxidados. Alternancia de niveles de lodolitas laminadas en capas lenticulares con niveles de limolitas grises. Intercalaciones de lodolitas calcáreas y no calcáreas grises en capas tabulares y lentiformes, presentan ocasionales intercalaciones de limolita gris calcárea en capas medias a gruesas. (Véase Anexo 5)

"Esta unidad suprayace e infrayace a micritas de la Formación Rosablanca y arcillolitas calcáreas de la Formación Muzo de manera concordante y neto a transicional rápido (Etayo Serna, comunicación verbal, 2005)".

En la sección La Palma-Caserio Murca, esta unidad es suprayacida por la Formación el Peñón e infrayace con la Formación Murca. "La formación Furatena es una variación facial de la Formación Ritoque y a la parte inferior de la Formación Paja".<sup>11</sup>

Dentro del túnel reciente, la Formación Furatena tiene un espesor de 290 metros caracterizándose por la presencia de lutitas y en algunos casos intercalación de lutitas y arcillolitas negras carbonosas calcáreas en algunos tramos del túnel se encontraban pequeñas venas de calcita que no se extendían más de un metro y pequeñas grietas de poca extensión rellenas de minerales arcillosos principalmente. (Véase Imagen 26 y 27).

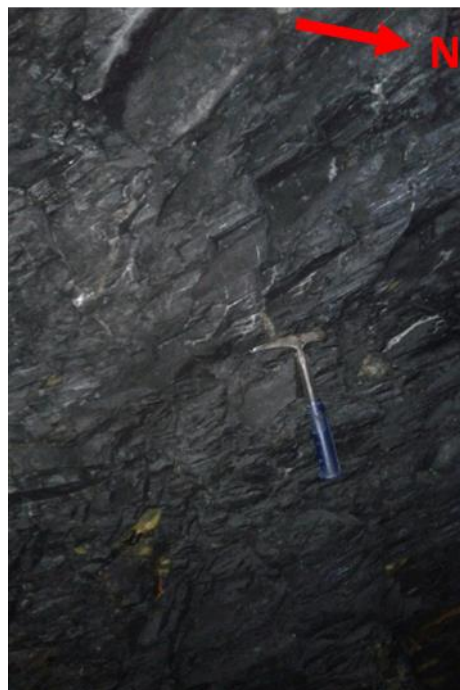
En superficie se observa que la Formación Furatena se presenta en la mayoría de la zona de estudio, localizándose hacia la parte Oeste de ésta y caracterizándose por una topografía bastante suave; esto debido a que se compone principalmente de arcillolitas, materiales blandos que no permiten por su consistencia alcanzar grandes elevaciones en el terreno. (Véase Imagen 28 y 29).

---

<sup>11</sup> Tomado del Informe Geología Titulo Minero, 2014. Diego Acevedo y Marly Vargas.



*Imagen. 26 Grietas rellenas con minerales arcillosos (principalmente caolín), en la Formación Furatena Nivel principal Túnel Bocamina Chaparral 2. Tomado por la autora.*



*Imagen. 27. Lutitas compactas carbonosas calcáreas Formación Furatena Túnel principal Túnel Bocamina Chaparral 2. Tomado por la autora.*





Imagen. 28. Arcillolitas carbonosas Formación Furatena Quebrada Caipala. Tomado por la autora.



Imagen. 29. Panorámica de la Formación Furatena y del Río Minero a su paso por la zona de estudio. Nótese en el fondo los Cerros de Fura y Tena. Tomado por la autora.

#### **4.2.2. Formación Muzo (b3b4m- edad Hauteriviano-Barremiano)**

La Formación Muzo fue definida en Reyes et al. (2006), para agrupar una sucesión calcárea y siliciclástica de edad Hauteriviano-Barremiano (Etayo Serna), el espesor de esta unidad está estimado en 300 m, este cálculo fue obtenido en el levantamiento de la columna estratigráfica llevada a cabo por INGEOMINAS-GEOSERCH (2005). Sus límites inferior y superior son netos con rocas siliciclásticas de la Formación Furatena y de la Formación Capotes, respectivamente. (Véase Anexo 6)

En el área de estudio la mayor parte de la Formación Muzo se encontró cubierta por vegetación, se identificaron algunos afloramientos, pero no se logró levantar una sección tipo, por tanto se ha tomado y modificado la levantada por Reyes et al. 2006. La cual está conformada por los siguientes segmentos y tiene un espesor aproximado de 250 m.

El segmento inferior (50 m) está compuesto por intercalaciones de lodolitas silíceas, en capas delgadas a medias con limolitas arenosas en capas delgadas e intercalaciones de capas onduladas delgadas a medias de lodolitas calcáreas y no calcáreas; con ellas se intercalan capas lenticulares de caliza micrítica y capas de limolitas. La laminación es ondulada continua y discontinua; se observan nódulos de pirita, en ocasiones oxidados y venas de calcita paralelas o cortando la estratificación de las rocas.

El segmento dos (70) compuesto por arenitas cuarzosas en capas delgadas, mal calibradas con granos subredondeados y subangulares, están atravesadas por venas de calcita y cuarzo, le siguen limonitas y lodolitas calcáreas, albitizadas con brechas mineralizadas de calcita, dolomita y cuarzo; lodolitas calcáreas con capas delgadas a medianas tabulares y lentiformes, con ocasionales venas de 5-10 cm de calcita fibrosa. Intercalaciones de lodolitas calcáreas y no calcáreas en capas delgadas a medias con limolitas arenosas en capas delgadas.

El segmento tres (70 m) presenta niveles de lodolitas y limolitas calcáreas y no calcáreas en capas delgadas a gruesas, ocasionales capas de calizas y arenitas cuarzosas, cemento calcáreo, con ocasionales venas de calcita y cuarzo. Lodolitas grises en capas delgadas a gruesas, laminación plana paralela continua y discontinua, que se intercalan con ocasionales capas lenticulares de limolitas arenosas y calizas micríticas.

El segmento cuatro (60 m) compuesto por intercalaciones de lodolitas calcáreas, limolitas calcáreas, caliza micrítica y arenitas con cemento calcáreo en capas lenticulares medianas y delgadas. Arenitas lodosas, grises, con cemento calcáreo;



intercaladas con lodolitas silíceas grises en capas delgadas estratificación plana paralela, presentan nódulos de pirita y venas de calcita. Se observan moldes de amonitas. (Véase Anexo 7).<sup>12</sup>

La Formación Muzo presenta unas elevaciones mayores en el relieve siendo parte de los Cerros La Pirtucha y Cerro Alto del Negro que son las elevaciones más grandes en la zona de estudio. Se componen de lutitas calcáreas con presencia de materia orgánica, siendo estas de un material un poco más compacto para conformar las elevaciones más altas que se presentan en la zona de estudio. Se muestra como una faja que se extiende desde el NE de la zona de estudio hasta el SW aproximadamente en el centro de ésta. (Véase Imagen 30).

En el túnel reciente la Formación Muzo presenta un espesor de 257 metros aproximadamente compuesto de lutitas negras carbonosas calcáreas, se presentan bastantes grietas por las cuales el agua se infiltra de manera semejante a que ésta corriera por tubos. Además se presentan vetas de calcita, pirita y en algunas ocasiones pirofilita conocida también en las zonas esmeraldíferas como mierdeloro y zonas de brecha rellenas de calcita, pirita y dolomita principalmente. También se evidencian brechas de origen hidrotermal con varios sistemas de vetas rellenas principalmente de calcita. (Véase Imagen 31, 32 Y 33).



*Imagen. 30. Panorámica de la Formación Muzo en la zona de estudio. Tomado por la autora.*

<sup>12</sup> Tomado del Informe Geología Titulo Minero, 2014. Diego Acevedo y Marly Vargas.

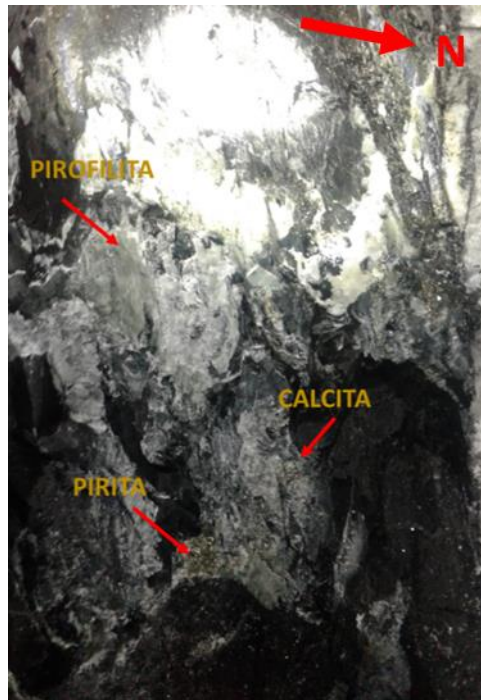


Imagen. 31. Veta conformada por calcita, pirita y pirofilita dentro del túnel Bocamina Chaparral 2, frente 6 en la Formación Muzo. Tomado por la autora.

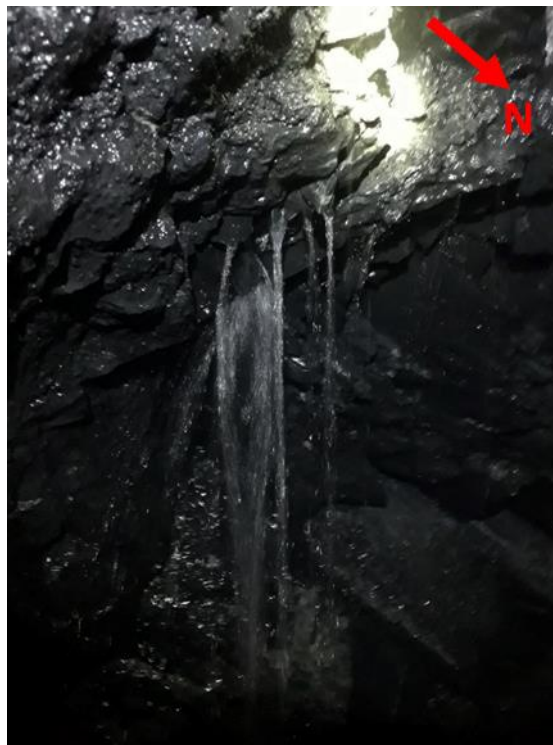
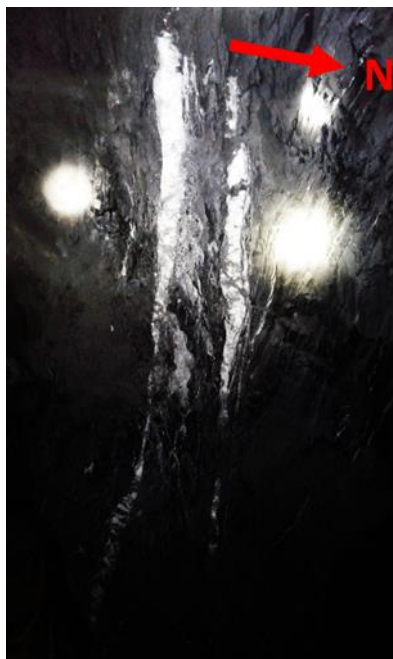


Imagen. 32. Fracturamiento dentro de la Formación Muzo que asemeja tubos por el que se infiltra el agua, en el frente 6 en el túnel Bocamina Chaparral 2. Tomado por la autora.





*Imagen. 33. Brecha hidrotermal dentro de la Formación Muzo en la que se observa dos sistemas de vetas, uno vertical y el otro cortando éstas vetas. Siendo el sistema de vetas verticales el mas antiguo. Tomado por la autora en el frente 5 túnel Bocamina Chaparral 2.*

#### **4.2.3. Formación Capotes (b4b6c-edad Aptiano tardío-albiano temprano)**

La Formación Capotes fue definida en Reyes et al. (2006), para agrupar una sucesión fina con un intervalo arcilloso y niveles silíceos, limosos o calcáreos de edad Aptiano tardío-albiano temprano (Etayo Serna), con un espesor aproximado de 750 m; El límite inferior con la Formación Muzo es concordante-neto, sin embargo y considerando la edad de la Formación Muzo como Barremiano y la edad de la parte más baja de esta unidad como Aptiano tardío, se debe presentar un hiato correspondiente al Aptiano inferior. El límite superior se da con la Formación Tablazo y es concordante-neto.

En el área de estudio la Formación Capotes presenta un espesor aproximado de 310 metros, agrupándose en tres segmentos. .

El segmento inferior (150 m) presenta intercalaciones de lodolitas y algunas capas delgadas de arenitas grises claras de grano muy fino, en ocasiones calcáreas. Alternancia de niveles de lodolitas y limolitas en capas medias a gruesas tabulares a lentiformes. Lodolitas y arcillolitas grises en capas delgadas a medias, tabulares; le siguen arcillolitas, en donde es notorio la presencia de concreciones huecas de óxidos de hierro.

El segmento dos (70 m) compuesto por arcillolitas grises ligeramente limosas con laminación ondulosa paralela discontinua, roca moderadamente dura en capas medias a gruesas.

El segmento tres (90 m) está compuesto por arcillolitas silíceas y arcillolitas calcáreas, de color gris; están dispuestas en capas medias finamente laminadas, plana paralela a levemente ondulosa. Le sigue intercalaciones de arcillolitas y lodolitas de color gris oscuro las rocas muestras laminación fina, continua, plana paralela. (Véase Anexo 8).<sup>13</sup>

La Formación Capotes presenta en la zona de estudio elevaciones más suaves que la Formación Muzo y más fuertes que las presentadas por la formación Furatena, se localiza hacia el Este de la zona de estudio. En superficie se observan arcillolitas fisiles de color gris claro como consecuencia de la meteorización. (Véase Imagen 34).

Dentro del túnel presenta un espesor de 28 metros dentro de los cuales se evidencia concreciones, nódulos principalmente de sulfuros bastante compactos y amonitas; la presencia de éstas permite establecer el contacto con la formación Muzo. Principalmente se encuentran lutitas compactas oscuras calcáreas. (Véase Imagen 35).



*Imagen. 34. Arcillolitas blanda de color gris claro de la Formación Capotes. Tomado por Diego Acevedo, Coordenadas: E: 1002301, N: 1112773, Altura: 1121 m.s.n.m.*

<sup>13</sup> Tomado del Informe Geología Titulo Minero, 2014. Diego Acevedo y Marly Vargas.



*Imagen. 35. Nódulos compuestos por sulfuros (pirita principalmente) en la base de la Formación Capotes Tomado por la autora.*

### **4.3. Correlación entre la estratigrafía Regional y la estratigrafía local**

Las Formaciones litoestratigráficas presentes en la zona de estudio a nivel regional son las Formaciones Rosablanca, Ritoque, Paja y Tablazo y las Formaciones a nivel local son las Formaciones Furatena, Muzo y Capotes que se correlacionan en la Tabla 3.

Tabla 3. Correlación entre la estratigrafía regional y local. Elaborado por la autora.

CORRELACIÓN ENTRE LA ESTRATIGRAFÍA REGIONAL Y LOCAL					
EDAD	ESTRATIGRAFÍA REGIONAL		EDAD	ESTRATIGRAFÍA LOCAL	
	FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN		FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
Valanginiano	<b>Rosablanca</b>	Está constituida por bancos de caliza micrítica maciza de color gris oscuro, en capas hasta de 2m de espesor.	Valanginiano	<b>Furatena</b>	Intercalaciones de lodolitas calcáreas con lodolitas silíceas grises en capas lentiformes, macizas y en ocasiones con laminación ondulada paralela y no paralela, hacia la base arcillolitas grises laminadas, arcillolitas carbonosas y limolitas silíceas en ocasiones calcáreas.
Hauteriviano Inferior	<b>Ritoque</b>	Conjunto de limolitas grises, micáceas con tonos rojizos por meteorización, en alternancia con areniscas de grano fino, arcillolitas y calizas lumaquélicas.	No se presenta en la zona		
Aptiano superior a Barremiano inferior	<b>Paja</b>	Lutitas negras, micáceas con concreciones arenosas, ligeramente calcáreas, que contienen fauna principalmente de amonitas.	Hauteriviano a Barremiano	<b>Muzo</b>	Lodolitas y limolitas albitizada, algo calcáreas, con laminación ondulada no paralela; presenta una zona brechada y mineralizada con venas de calcita y láminas de sulfuros óxidados.
Aptiano Superior a Albiano Inferior	<b>Tablazo</b>	Serie de calizas y lodolitas calcáreas fosilíferas, macizas, con predominio de calizas en la parte alta y lodolitas calcáreas en la parte baja.	Aptiano tardío a Albiano temprano.	<b>Capotes</b>	Arcillolitas grises oscuras en capas gruesas y medias, tabulares intercaladas con capas de limolitas silíceas y arenitas arcillosas, con gran cantidad de concreciones (10 a 20 cm.) de óxidos de hierro, huecas o con amonitas.

Como se puede observar la Formación Ritoque no se presenta en la zona. La Formación Rosablanca es correlacionable en edad y litoestratigráficamente con la Formación Furatena; la Formación Muzo es correlacionable con la Formación Paja en su parte superior y aunque la Formación Capotes sea correlacionable con la Formación Tablazo en edad no lo son litoestratigráficamente, ya que lo es con la Formación Paja en su parte superior.



## 5. Geología estructural

El área de estudio se caracteriza por presentar unidades de composición lodosa que ejercen una influencia en la deformación de las rocas, debido a su comportamiento dúctil, generando plegamientos y fallas poco definidas geomorfológicamente. De acuerdo con esto es posible diferenciar con sus características estructurales: el sinclinal de Furatena y el Anticlinal de Furatena.

Las estructuras presentes mantienen un rumbo aproximado NE, cambiando en el sector SE del título donde pasan a NW. Los nombres de las estructuras, principalmente de los pliegues han sido adoptados de la geología del cinturón esmeraldífero occidental. Reyes et al (2006).

Las fallas son inversas con movimientos transcurrentes, no tienen una expresión morfológica definida, los planos de falla usualmente no están mineralizados y las brechas que normalmente se reconocen en las minas de esmeraldas son de origen hidrotermal, pero se pueden confundir con las tectónicas cuando una falla está afectando una zona mineralizada, que en algunos casos repite la secuencia. Por lo observado en campo las fallas son posteriores a la mineralización de esmeraldas, así coincidan, con áreas mineralizadas.

### 5.1. Pliegues

#### 5.1.1. Sinclinal de Furatena

Estructura de extensión reducida que atraviesa la vereda Furatena y Chaparral al este de San Pablo de Borbur, y que finaliza contra la Falla del Rio Minero. El núcleo del sinclinal lo compone la parte superior y media de la Formación Furatena. La superficie de charnela es algo sinuosa con orientación general N30°E; es un sinclinal suave, subvertical, con inmersión débil hacia el suroeste. (Véase Imagen 36).



*Imagen. 36 Vista desde el Cerro Alto del Negro donde se aprecia el Sinclinal de Furatena conformado por rocas de la Formación Furatena. Tomado por Diego Acevedo.*

### 5.1.2. Anticlinal de Furatena

Anticlinal de longitud reducida, que atraviesa la vereda Furatena, Pirtucha y el Almendro al noroeste de la inspección de Zulia y que es truncada hacia el norte por la Falla de Ibacapí. El núcleo está conformado por las formaciones Furatena y Muzo. La superficie de charnela se orienta N50°E; es un anticlinal suave, subvertical (la superficie de charnela buza 80° al SE) con inmersión débil, tanto al noreste como al suroeste. (Véase Imagen 37).



*Imagen. 37. Anticlinal de Furatena conformado por rocas de las Formaciones Furatena y Muzo; la estructura forma el Cerro Alto del Negro. Tomado por Diego Acevedo.*

## 5.2. Fallas

### 5.2.1. Falla del Río Minero

Su nombre se deriva del río Minero por el cual va la falla su trazo es en dirección N35°E, es rectilíneo con algunas variaciones pequeñas en su rumbo, presenta un plano inclinado hacia el occidente, pone en contacto diferentes conjuntos estratigráficos, dada la oblicuidad de la estratificación con respecto a la falla; Un rasgo notable se presenta en los cerros Fura y Tena, constituidos en parte por roca calcárea de la Formación Rosablanca, los cuales fueron elevados dentro de la Formación Furatena por efecto de la falla, con un sentido dextral. (Véase Imagen 38).



## 5.2.2. Falla de Pirtucha

Se designa con este nombre a la falla que va por el cerro del mismo nombre por el cual va su trazo, tiene dirección N50-70°E, con vergencia al oriente y cabalga sobre rocas de las formaciones Muzo y Furatena, la falla termina hacia el sur contra la falla del Río Minero. (Véase Imagen 39). En la estación realizada en las coordenadas E: 1 002 143 N: 1 113 535 Altura: 888 m.s.n.m., se encontró una zona de brecha dentro de la cual habían hecho un pequeño túnel de aproximadamente 30 metros, en la Imagen 40 a) se muestra la entrada del túnel, en la Imagen 40 b) se evidencia una muestra de ésta zona que se ve de un color amarillo ocre con suturas en el medio rellenas de calcita y en la Imagen 40 c) se evidencia una veta en el interior de éste túnel rellena de calcita. Se tomó un dato estructural dentro de éste pequeño túnel rumbo N70E y buzamiento 70SE.

Dentro del túnel reciente se considera como el contacto entre las Formaciones Furatena y Muzo y se evidencia como una gran grieta en la que las condiciones son diferentes a las encontradas dentro del túnel, esto se refiere a que el oxígeno disminuye de manera alarmante en cuestión de segundos, se tomó un dato estructural N40E/70SE.

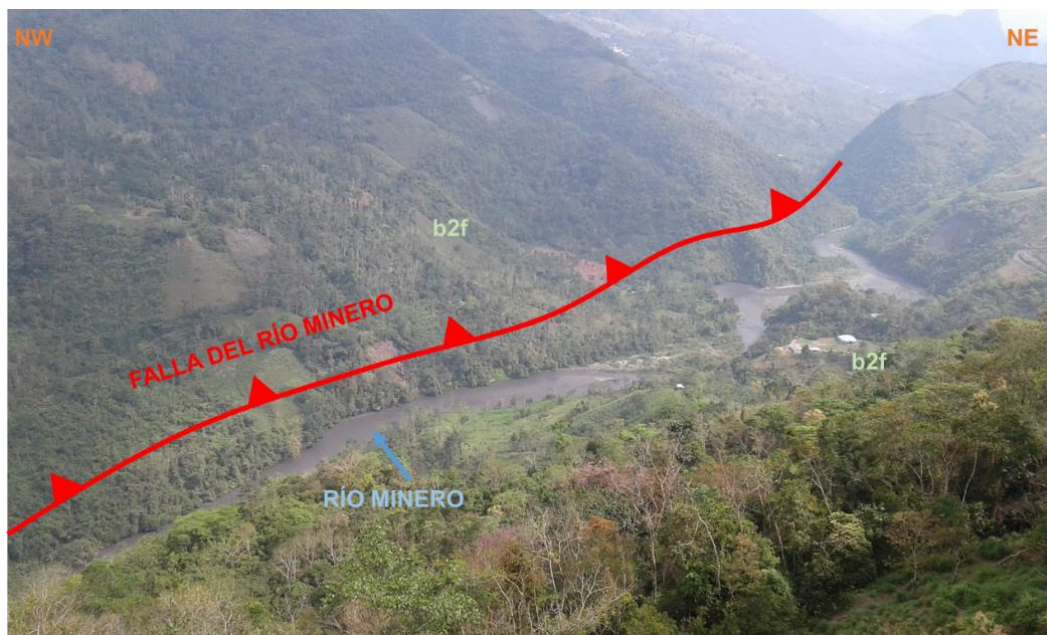


Imagen. 38. Lineamiento de la falla del Río Minero. Tomado por la autora.





Imagen. 39. Lineamiento de la falla Pirtucha. Tomado por Diego Acevedo.



Imagen. 40. Collage de la zona de brecha localizado en las coordenadas E: 1 002 143 N: 1 113 535 Altura: 888 m.s.n.m. Tomado por la autora

### 5.2.3. Falla Mina

Se designa con este nombre a la falla encontrada en el túnel reciente, la zona de brecha de extiende por el frente 3 hacia el frente 6 del mismo. Se tomó un dato estructural en el frente 6 de N53W/56SW. Es una falla de rumbo dentro de la formación Muzo. En la Imagen 41 se observa una muestra de las estrías de fricción que se encontraron en el frente 6. En la Imagen 42 se observa una muestra encontrada en el frente 6, de la zona de brecha que es de origen hidrotermal compuesta por calcita, dolomita y un pequeño cristal de pirita.



Imagen. 41. Muestra de las estrías en el frente 6 indicando la presencia de la Falla Mina. Tomado por la autora.

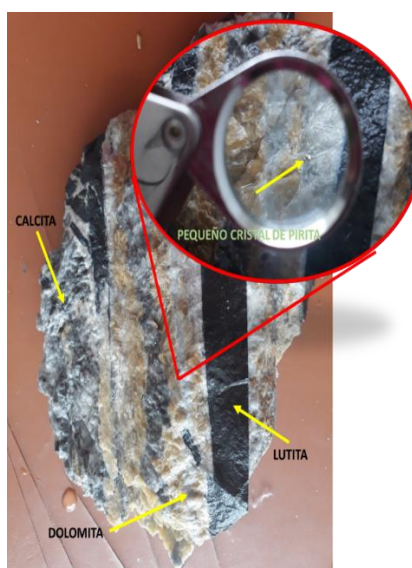


Imagen. 42. Muestra de la zona de brecha en el frente 6 con presencia de calcita, dolomita y pirita. Tomado por la autora.

## 6. Geología económica

La actividad minera en el Cinturón Occidental ha estado centrada en los yacimientos de esmeraldas, explotados desde épocas precolombinas, y recientemente se ha podido identificar otros recursos como el carbón y manifestaciones de cobre. (Reyes et al, 2006).

### 6.1. Las esmeraldas de Colombia y su modelo genético

#### 6.1.1. Características generales de las esmeraldas.

La esmeralda es la variedad verde del berilo, un mineral ciclosilicato de berilio y aluminio de fórmula química  $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$ , que contiene además pequeñas cantidades de cromo y, en algunos casos, vanadio, que le proporcionan su característico color verde.

Es una piedra preciosa muy valorada debido a su rareza, pues desde la Antigüedad se descubrieron piedras preciosas de color verde como la malaquita, pero la esmeralda es la única cristalina. Su nombre, posiblemente persa, significa piedra verde y su tonalidad ha dado nombre al color verde esmeralda.<sup>14</sup>

El berilo puro o “berilo noble” (también llamado “Goshenita”), es incoloro, pero las diversas variedades del mismo, obtenidas mediante la incorporación de iones de diferentes elementos dentro de su trama cristalina, hace que sus variedades presenten diversas coloraciones, Figura 14.

---

<sup>14</sup> Tomado de la página web <https://es.wikipedia.org/wiki/Esmeralda>.

Elementos cromóforos		Color Generado	Nombre de la Variedad
Cr y/o V	→	VERDE VIVO	Esmeralda
Fe	→	VERDE OPACO	Berilo Verde
Fe	→	AZUL	Aguamarina
Fe	→	AMARILLO	Berilo Dorado
Mn	→	ROSADO	Morganita
Mn	→	ROJO	Bixbita

Figura 14. Principales variedades del berilo. Se especifican los elementos que generan el color (cromóforos). Tomado de Carrillo. 2007.

Tanto la esmeralda como la aguamarina están formadas por un mineral, el berilo, que es incoloro cuando se encuentra puro. Es una pequeña cantidad de cromo lo que le da a la esmeralda su intenso color verde, mientras que el hierro se encarga de darle sus ligeros matices azulados a la aguamarina. Sin embargo, el incoloro berilo puede ser también "vestido" con otros colores: dependiendo de su carga eléctrica, las impurezas de manganeso en berilo pueden llegar a producir gemas de color de rosa o rojas, como la morganita. Y la presencia de hierro en el berilo no solo produce aguamarinas, sino que algunas veces se obtiene una variedad de berilio coloreada con un amarillo intenso, como el heliodoro.<sup>15</sup>

En la tabla 4 se muestran las propiedades físicas, químicas y la cristalografía de las esmeraldas y en la tabla 5 las propiedades ópticas de las esmeraldas.

Tabla 4. Propiedades físicas, químicas y cristalografía de la esmeralda. Tomado de Mina de Piedras 2009.

PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y CRISTALOGRAFÍA DE LA ESMERALDA	
<b>Composición Química</b>	$\text{Al}_2\text{Be}_3(\text{Si}_6\text{O}_{18}) + \text{Cr o V}$
<b>Clase mineral</b>	IX Silicatos
<b>Raya</b>	Blanca
<b>Dureza</b>	7,5 - 8 Mohs

<sup>15</sup> Tomado de Carrillo. 2007.



<b>Densidad</b>	2,67 - 2,78
<b>Exfoliación</b>	Imperfecta
<b>Fractura</b>	Concoidea pequeña, desigual, frágil
<b>Cristalización</b>	Hexagonal
<b>Hábito Cristalino</b>	Prisma hexagonal.

Tabla 5. Propiedades ópticas de las esmeraldas. Tomado de Mina de Piedras 2009.

PROPIEDADES ÓPTICAS DE LA ESMERALDA	
<b>Naturaleza Óptica</b>	Uniaxica
<b>Signo Óptico</b>	Negativo
<b>Transparencia</b>	Trasparente a opaca
<b>Color</b>	Verde, verde amarillento, verde azulado
<b>Brillo</b>	Vítreo
<b>Índice de refracción</b>	1,568-1,573 1,578-1,584
<b>Birrefringencia</b>	0,005 0,006
<b>Dispersión</b>	0,014 (BG), 0,009-0,013 (CF)
<b>Pleocroísmo</b>	Verde-azul, verde- amarillo
<b>Fluorescencia</b>	Variable en intensidad. Generalmente entre rosada y roja.

### 6.1.2. Modelos genéticos a nivel mundial

La naturaleza utiliza dos fórmulas diferentes para crear esmeraldas. La más común, se presenta en casi todos los yacimientos del mundo; la única excepción comprobada corresponde a las esmeraldas de Colombia, para las cuales la ciencia acepta hoy en día el proceso diferente. Figuras 15 y 16.

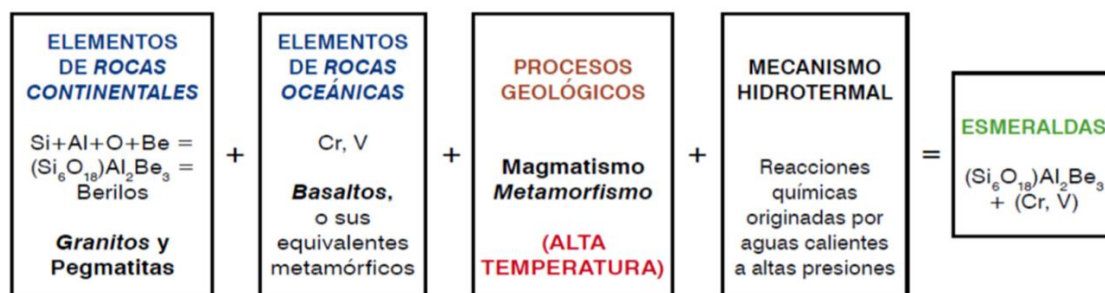


Figura 15. La fórmula más comúnmente utilizada por la naturaleza para generar esmeraldas: Modelo de alta temperatura. Tomado de Carrillo. 2007.



Figura 16. La fórmula especial utilizada por la naturaleza para originar las esmeraldas de Colombia: Modelo de baja temperatura. Tomado de Carrillo. 2007.

Las esmeraldas son tan escasas debido a que el mineral berilio no es muy frecuente en las rocas continentales, está dado porque en este ambiente el berilo es muy escaso. Ya que el berilio es tan poco común sus variedades lo son aún más pues para que modificar este mineral en esmeralda se requiere la adición de iones de V y Cr, los cuales no se encuentran normalmente en las rocas continentales sino en rocas oceánicas o en sus equivalentes metamórficos.

Con lo anterior se puede concluir que para que se formen esmeraldas bajo este proceso, se debe mezclar un grupo de elementos extraídos de rocas continentales con otro grupo de elementos que por lo general se encuentran en rocas oceánicas. Para que se forme ésta mezcla la naturaleza utiliza básicamente dos procesos endógenos: el magmatismo y el metamorfismo al final de los cuales emplea el mecanismo hidrotermal como medio específico para formar las esmeraldas.

La formación de esmeraldas de origen magmático se explica porque a medida que se van enfriando lentamente en profundidad los domos ígneos, sus paredes se solidifican, pero en su interior queda una masa de roca fluida, dentro de la cual se van cristalizando minerales ricos en Fe y Mg, haciendo que el magma se torne cada vez más acuoso (hidrotermal). En la figura 17A el cuerpo de granito, todavía de

carácter fluido, se representa en color rojo amarillento y su caparazón ya sólido, de color café; las rocas basálticas encajantes se indican con el símbolo “V”.

El emplazamiento o “intrusión” ocasiona fracturamientos periféricos y el desarrollo de pequeñas cavidades vacías en las rocas volcánicas aledañas. Posteriormente, Figura 17B, la generación de altas presiones al interior del domo produce la ruptura de sus paredes y la inyección de fluidos hidrotermales (indicada por las flechas), dentro de cavidades aledañas, una de las cuales se señala en el recuadro C. En los espacios vacíos, Figura 17C, las soluciones inyectadas se enfrían paulatinamente dando lugar a la cristalización de las esmeraldas y de los demás minerales acompañantes.

Vale la pena anotar que llegar a esclarecer la génesis de nuestras esmeraldas no ha sido un proceso fácil, debido a que la definición de algunos de sus aspectos primordiales implicaba la utilización de tecnologías que incluso hoy en día, todavía se encuentran fuera del alcance de nuestras instituciones de investigación. Por esta razón, y a pesar de que desde 1970 el geólogo Colombiano Luis F. Medina había planteado su origen mediante un mecanismo autóctono, en el cual las gemas cristalizaban a partir de elementos lixiviados de las lodolitas negras encajantes (también denominadas “shales” por los geólogos), no fue sino hasta principios de los años 90 cuando fruto de la cooperación internacional, un equipo de investigación científica del Instituto ORSTON (Francia), dirigido por Gastón Giuliani y Allain Cheilletz, pudo dar un soporte técnico integral al modelo que actualmente se considera como el más aproximado a la realidad.

Para el efecto aplicaron técnicas analíticas modernas (análisis de isótopos, dataciones de la mineralización, espectrografía de emisión y otras), respaldadas por un detallado trabajo de campo. En lo referente al origen único de las esmeraldas colombianas, vale la pena reseñar que en un reciente trabajo de Sabot, et. al., 2000, se sugiere que las minas de la provincia de Laghman, al NE de Afganistán, podrían presentar un cuadro genético similar al de las esmeraldas de Colombia.<sup>16</sup>

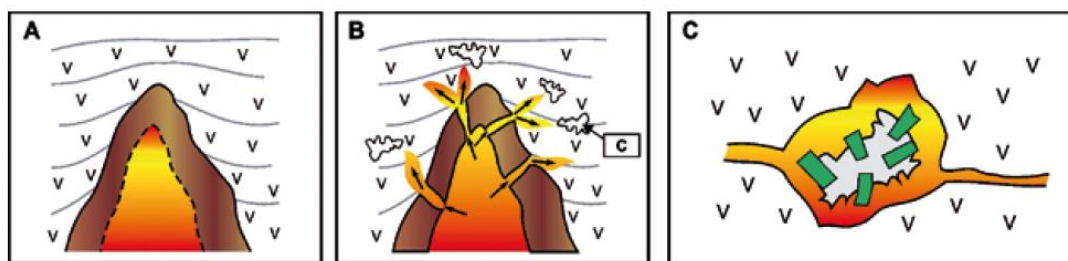


Figura 17. Mecanismo de formación de las esmeraldas de Nigeria, Africa, sinterizado y modificado de G. Giuliani, et al. Editores (2002). Tomado de Carrillo .2007.

<sup>16</sup> Tomado de Carrillo. 2007.

### 6.1.3. Yacimientos esmeraldíferos de Colombia

#### 6.1.3.1. Descripción detallada del modelo genético de Colombia

El modelo se inicia con la distribución de tierras y mares en la proto-Colombia de finales del Jurásico, período que comprende el lapso de tiempo que ocurrió entre hace 208 y 144 ma. y en su desarrollo resaltan los seis eventos secuenciales que se presentan en la Figura 18.

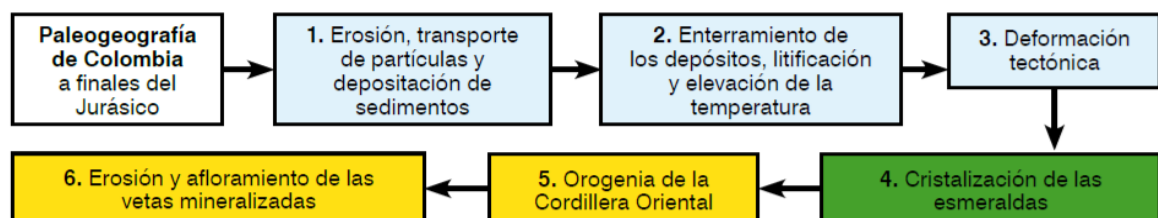


Figura 18. Esquema que presenta los principales eventos geológicos que precedieron el descubrimiento de las esmeraldas colombianas. Tomado de Carrillo. 2007.

#### Paleogeografía de Colombia a partir de los finales del período Jurásico:

En la Figura 19 se observa que a partir del paleogolfo Cundiboyacense el mar se fue extendiendo progresivamente en dirección NE, hasta que a finales del Cretácico hace 67 ma, termina su expansión y comienza un proceso de retiro, con lo cual gran parte de la Colombia ancestral vuelve a ser nuevamente y hasta nuestros días, dominio continental. La Figura 20 muestra la distribución de tierras y mares a mediados del período Cretácico.

Con respecto a la paleogeografía debe resaltarse que la misma es muy importante porque nos permite diferenciar las geoformas continentales que estaban siendo sometidas a erosión, de las zonas marinas, que eran los lugares donde finalmente se acumulaban las partículas erosionadas en las zonas altas de los continentes.<sup>17</sup>

**Evento 1. Erosión de las masas continentales, transporte de partículas y sedimentación marina de capas de arcillas, calizas y sales.** Las zonas continentales estaban sometidas a procesos de meteorización química, física y biológica, generados por la acción de la lluvia, el viento, el hielo, y los organismos vivientes que continuamente degradan el suelo y las partes superiores del subsuelo; las partículas disgregadas o los productos de alteración generados por estas acciones se incorporaron a las aguas de escorrentía superficial, para de esta

<sup>17</sup> Tomado de Carillo 2007.



manera ser transportados por el influjo de la gravedad hasta los fondos marinos, en donde se sedimentaron conformando capas de rocas sedimentarias de morfología tabular y en posición aproximadamente horizontal.



Figura 19. Geografía de Colombia a finales del Jurásico. Las flechas naranja indican genéricamente, el sentido de transporte hacia las zonas marinas, de los sedimentos erosionados del continente Sur Americano. Tomado de Carrillo. 2007.

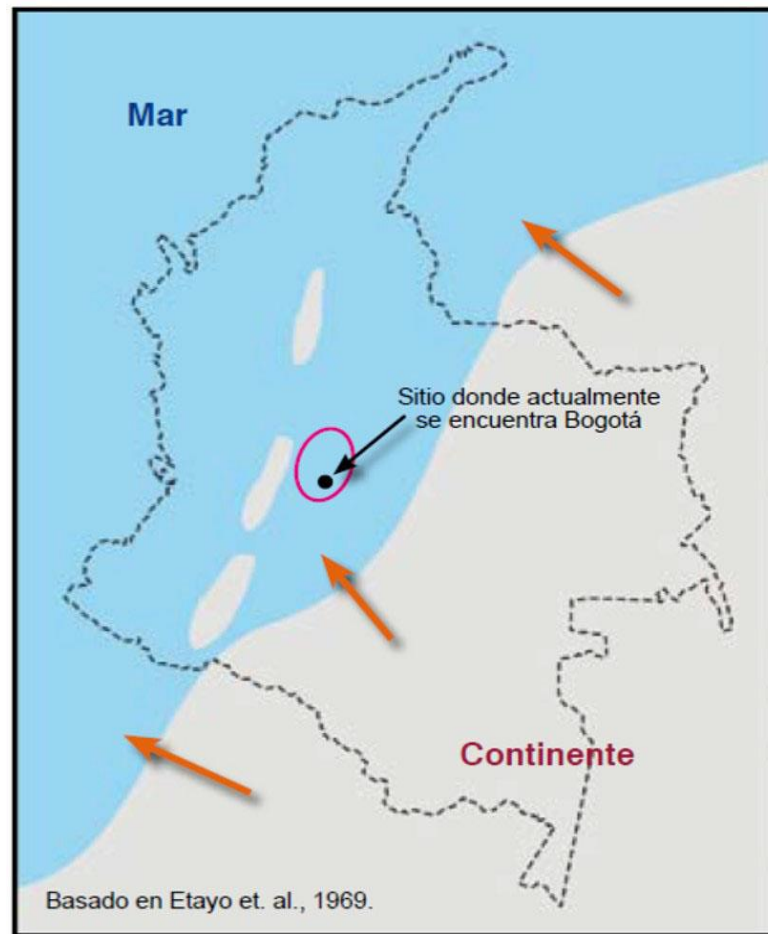


Figura 20. Paleogeografía de Colombia hace aprox. 100ma. Nótese que prácticamente todo el sector que hoy ocupa la Cordillera Oriental era dominio marino y que los procesos de erosión, transporte y sedimentación continúan desarrollándose (flechas naranja). La cadena de islas corresponde a algunos segmentos de la ancestral cordillera central. La elipse señala la zona donde el desarrollo de los 2 y 3 condujeron a la formación de las esmeraldas colombianas, la cual tiene una relación directa con el paleogolfo de Cundinamarca y Boyacá. Tomado de Carrillo. 2007.

De esta manera en nuestros mares Cretácicos se depositó una gruesa secuencia de sedimentos en la que predominaban las arcillas negras, ricas en material carbonoso proveniente de las abundantes formas de vida que ya existían en los continentes e islas de la época; de manera ocasional se intercalaron capas y lentejones de carbonatos y de sales, precipitados los primeros en las aguas poco profundas de las plataformas continentales y las segundas, en los ambientes sub-aéreos de los pantanos costeros, como consecuencia de la evaporación de las aguas marinas.

**Evento 2. Enterramiento de los sedimentos, formación de rocas, e incremento de la temperatura.** El espesor total de los sedimentos Cretácicos depositados en el paleogolfo de Cundinamarca alcanzó cerca de 5.000 metros, y el peso de los materiales acumulados generó en las capas más profundas presiones del orden de 1,4 tn/cm<sup>2</sup> y temperaturas del orden de los 400° C. Estas condiciones condujeron a que los sedimentos inicialmente depositados como partículas sueltas, se compactaran y se cementaran, pasando a constituir rocas consolidadas que técnicamente se denominan como “lodolitas negras”, las que provinieron de las arcillas negras carbonosas; calizas, las que se formaron a partir de las partículas carbonatadas y evaporitas, las que se originaron por compactación de los cristales de sal. Las moléculas de agua que quedaron atrapadas en los poros de las rocas se fueron calentando progresivamente hasta alcanzar las temperaturas citadas, pero debe aclararse que no podían convertirse en vapor debido a las altas presiones a las que se encontraban confinadas. Figura 22.<sup>18</sup>

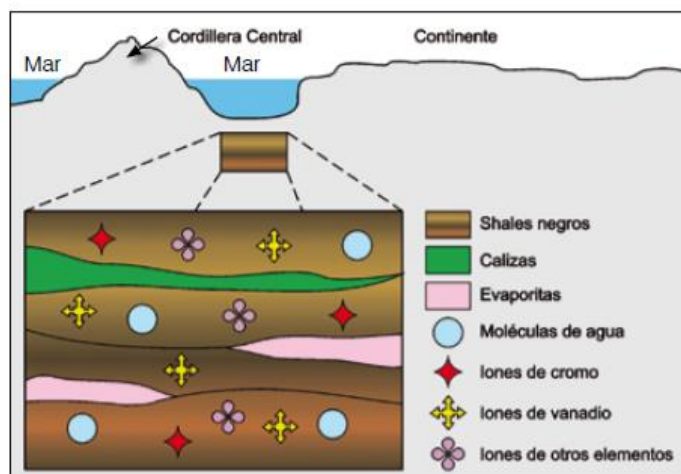


Figura 21. Evento 2: Enterramiento de la secuencia sedimentaria Cretácica e incremento de presiones y temperaturas. Los sedimentos se depositan en capas o estratos aproximadamente horizontales; el recuadro ampliado esquematiza la distribución de las moléculas de agua y de los principales elementos metálicos contenidos en las lodolitas negras. Tomado de Carrillo. 2007.

**Evento 3. Deformación tectónica. Fig. 23.** Grandes presiones laterales provenientes del empuje de la placa del Caribe sobre la región NW del Continente Suramericano, produjeron el plegamiento y el fallamiento de la secuencia rocosa sedimentaria, conformándose en las mismas zonas de ruptura que técnicamente se denominan como brechas tectónicas y zonas de cizalla. Estas deformaciones frágiles jugaron un papel muy importante en el proceso de mineralización que se

<sup>18</sup> Tomado de Carrillo 2007.

explica a continuación, pues la ruptura y el fracturamiento producidos incrementaron notoriamente la porosidad primaria de las rocas ya consolidadas, generándose de esta manera espacios vacíos hacia los cuales se dirigieron las aguas calientes que saturaban los poros de las lodolitas negras.

**Evento 4. Formación de las esmeraldas.** Aunque la formación de las esmeraldas es un proceso complejo, por simplificación didáctica el mismo solamente se descompone en dos fases: 1. Removilización y transporte geoquímico, y 2. Precipitación y cristalización de las esmeraldas.

**FASE 1. Removilización y transporte geoquímico.** En su camino hacia los espacios vacíos recién creados, las moléculas de agua caliente disolvieron las sales de las evaporitas y los carbonatos de las calizas, y al infiltrarse dentro de las lodolitas negras no solamente atraparon gran cantidad de los elementos metálicos que en ellos se encontraban, Figura 24, sino que además oxidaron la materia orgánica que estas rocas contenían, permitiendo de este modo el desarrollo posterior de las reacciones químicas que condujeron a la precipitación de las esmeraldas y sus minerales asociados.

La removilización y el transporte de los fluidos, cargados ya con los diferentes compuestos químicos que van a permitir la formación de las esmeraldas, fueron dirigidos hacia los espacios vacíos ocasionados por el desarrollo del evento 3, conformándose así tres zonas de morfología diferente: las vetas (de carácter más o menos tabular), las zonas de brecha (de morfología semi tabular a irregular), y las bolsadas o paquetes, de dimensiones generalmente pequeñas (40x30x15 centímetros en promedio). Debe aclararse que las bolsadas o paquetes pueden desarrollarse dentro de las mismas vetas tabulares, dentro de las zonas de brecha o, en algunas ocasiones, bastante lejos de las zonas mineralizadas, pues las altas presiones que confinaron las aguas calientes en profundidades cercanas a los 1.000 m bajo el fondo marino, localmente pudieron forzar la inyección de estos fluidos en zonas alejadas de los focos mineralizantes.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> Tomado de Carrillo. 2007.



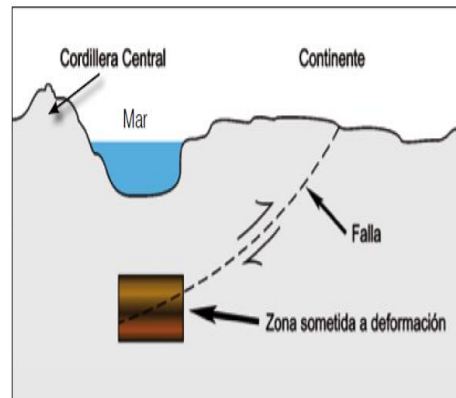


Figura 22. Evento 3: Deformación y Fallamiento de la secuencia sedimentaria y desarrollo de espacios vacíos en las zonas de fracturamiento. En la zona señalada por el rectángulo naranja se sucede el evento 4. Tomado de Carrillo. 2007.

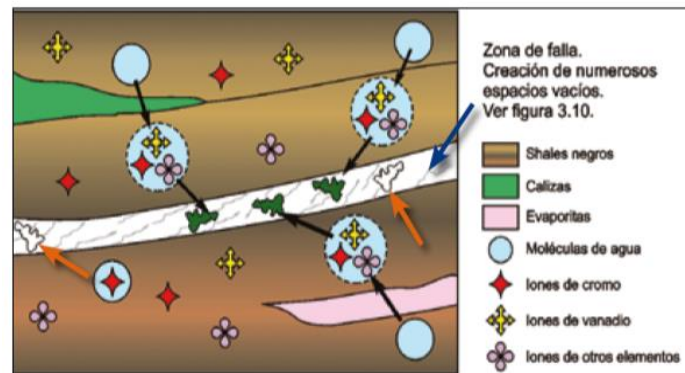


Figura 23. Evento 4, formación de esmeraldas, fase I: Removilización geoquímica. Los rellenos que producen esmeraldas (fértils), se señalan con flechas negras; los señalados con flechas naranjas son estériles debido a que, por diferentes circunstancias, no portan todos los elementos que se necesitan para la formación de las gemas. Tomado de Carrillo. 2007.

FASE 2. Precipitación y cristalización de las esmeraldas. Cuando los fluidos generadores fértiles comenzaron a enfriarse y su temperatura se encontraba entre los 300 y los 350°C, cristalizaron las esmeraldas y los minerales asociados, generalmente calcita (predominantemente romboédrica), cuarzo, feldespatos y pirita (con frecuencia en forma de dodecaedro), Figura 25.

Debido a la gran importancia que presentan en relación con la búsqueda o exploración de las esmeraldas, se resaltan a continuación dos aspectos derivados del desarrollo del proceso mineralizante. En primer lugar, la filtración de las aguas calientes a través de los poros de las lodolitas negras produce en las mismas una notoria pérdida de su color original, Figura 26. Esta alteración se denomina técnicamente como albitización, ya que la decoloración de las lodolitas es debida a

la introducción dentro de las mismas de un mineral blanquecino denominado albita. En la región de Muzo- Coscuez, algunas brechas tectónicas que han sido albitizadas y que consisten fundamentalmente de fragmentos de lodolitas negras incluidos en una matriz de roca triturada con abundante albita y pirita, han recibido el descriptivo nombre de “cenicero”.

En segundo lugar debe especificarse que una vez que las soluciones hidrotermales ocuparon las cavidades vacías, se sucedió un largo período de tranquilidad y se produjo en consecuencia un lento descenso de la temperatura. Las esmeraldas de Colombia se formaron únicamente cuando la temperatura de los líquidos parenterales se mantenía entre los 300 y los 350° C, ya que por encima o por debajo de este intervalo no se forman estas piedras preciosas. En la práctica esto significa que las vetas de esmeraldas o en general las zonas mineralizadas, no se extienden ilimitadamente en profundidad.<sup>20</sup>



Figura 24. Evento 4, formación de las esmeraldas: fase 2, Precipitación y cristalización de las gemas. Tomado de Carrillo. 2007.

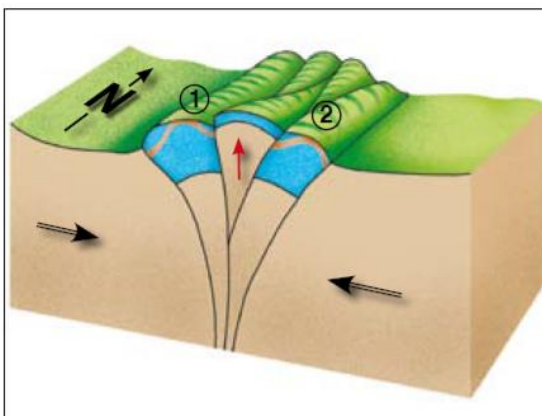


Figura 25. Decoloración de las lodolitas negras por alteración hidrotermal (albitización). A la derecha un fragmento de lodolita mostrando un molde de un fósil marino y su color negro natural; a la izquierda una masa central de lodolita alterada, de color gris medio, delimitada lateralmente por dos vetillas de carbonatos que engloban pequeños cristales de esmeraldas. Longitud de la roca albitizada: 10 cm. Obsérvese la inclusión de fragmentos de lodolitas albitizados dentro de las masas blanquecinas de los carbonatos de las vetas. Tomado de Carrillo. 2007.

<sup>20</sup> Tomado de Carrillo. 2007.

**Evento 5. Orogenia de la Cordillera Oriental.** Corresponde al evento geodinámico que levanta el bloque cordillerano. La zona donde se conformaron las esmeraldas, que hasta el momento se encontraba a centenares de metros por debajo del fondo marino, se eleva progresivamente hasta alcanzar alturas kilométricas por encima de las aguas del mar. Por efectos dinámicos la zona central de la cordillera sufre un plegamiento elevándose mucho más que las laterales y en consecuencia se erosiona con mayor rapidez. Esta es una de las razones que nos permite comprender por qué solamente se han encontrado esmeraldas tipo gema en las franjas o cinturones laterales que se muestran en la Figura 27.

El levantamiento de la cordillera oriental de Colombia se sucede relativamente tarde, ya que aunque los episodios de deformación y mineralización se sucedieron hace aproximadamente 65 ma, para el caso de la región Chivor - Gachalá, y 34 ma para la región de Muzo - Coscuéz, el ascenso morfológico de la cordillera solamente empezó hacia finales del Mioceno, es decir desde hace tan sólo 5 millones de años (aproximadamente).<sup>21</sup>



*Figura 26. Evento 5. Ascenso y erosión de la Cordillera Oriental de Colombia. Nótese que el bloque central, señalado por la flecha roja vertical, se eleva más que los laterales, lo que ocasiona la erosión del nivel que porta las mineralizaciones de esmeraldas (banda de color naranja). Círculo 1: Región de Muzo - Yacopí. Círculo 2: Región de Chivor - Gachalá. Las flechas negras dobles representan los esfuerzos laterales que dieron origen al solevantamiento del bloque cordillerano. Modificado de: Pluijm, B. y Marshak, S., 1997. Tomado de Carrillo. 2007.*

**Evento 6. Erosión, descubrimiento y explotación de las esmeraldas.** Tan pronto como comienza el ascenso cordillerano los agentes meteorizantes y la erosión consecuente empiezan a “desgastar” las masas ascendidas, permitiendo primero que las vetas esmeraldíferas quedaran expuestas a flor de tierra y posteriormente, su descubrimiento y consecuente explotación. Figura 28.

<sup>21</sup> Tomado de Carrillo. 2007.



*Figura 27. Evento 6: Erosión, descubrimiento y explotación de las esmeraldas. Antiguas explotaciones a cielo abierto en la región de Chivor; hoy en día este tipo de labores ha sido sustituido por métodos de explotación subterráneos, menos agresivos con el medio ambiente. Tomado de Carrillo. 2007.*

### **6.1.3.2. Marco geográfico de los yacimientos esmeraldíferos de Colombia.**

La región esmeraldífera se encuentra en la parte central de la Cordillera Oriental, la cual se considera una cuenca sedimentaria de retro-arco del Triásico al Cretácico tardío, invertida en el Cenozoico. Esta cuenca corresponde a un conjunto rocoso plegado que cabalga sobre la cuenca de los Llanos en el oriente y sobre la cuenca del Magdalena, al occidente (Fabre, 1987; Cooper et al., 1995; Branquet et al., 1999b).

El principal levantamiento de la cordillera se atribuye a la gran inversión del Mioceno Medio (Laumonier et al., 1996), reflejada mediante desarrollo de cabalgamientos, pliegues rampa y fallas inversas orientadas paralelamente a la cadena y asociadas a un despegue profundo; también se reconocen deformaciones del Paleógeno en la cuenca del Magdalena y en la cadena del borde llanero (Laumonier et al., 1996; Branquet et al., 1999b)

Los dos cinturones esmeraldíferos presentan una litología compuesta por lutitas negras del Cretáceo Inferior, rocas que afloran en zonas de doblamiento (zonas de bisagra) de amplios anticlinorios.

Separados por 80 a 100 km, los dos cinturones esmeraldíferos muestran similitud muy marcadas en su geoquímica, estratigrafía y estructural. A escala regional, se distinguen las siguientes regiones morfoestructurales de occidente a oriente:



Semifosa del Valle del Magdalena, Sinclinorio de Guaduas, Anticlinorio de Villeta, Sinclinorio de la Sabana de Bogotá, Anticlinorio de Los Farallones, Sinclinorio de Nazareth y la Planicie de los Llanos Orientales.

Las estructuras principales son pliegues con direcciones NNE-SSW en general, la misma dirección de la cordillera. En la Figura 29 se muestran la localización geográfica de los cinturones esmeraldíferos.<sup>22</sup>

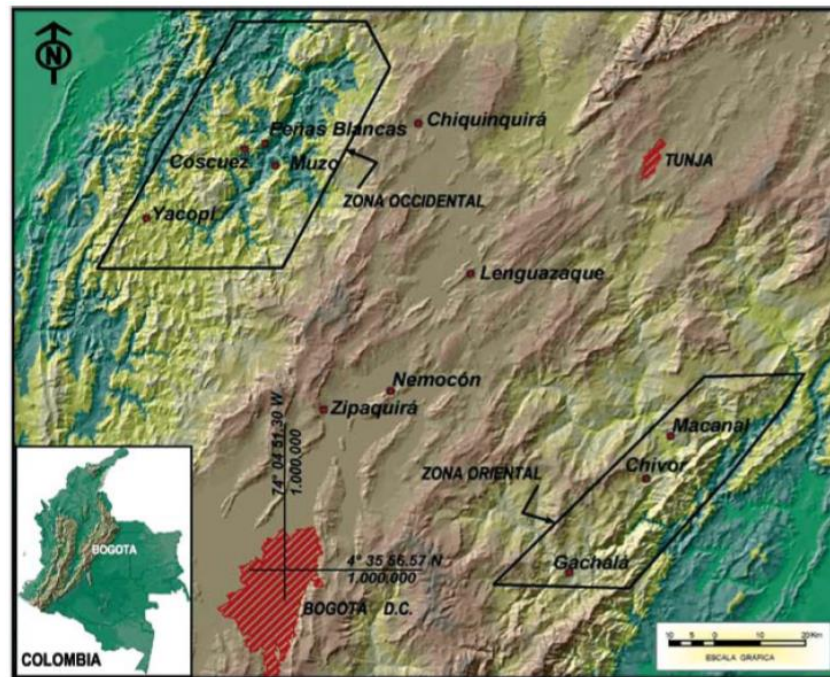


Figura 28. Localización geográfica sobre un mapa de sombras, de las zonas esmeraldíferas de Colombia. Las tonalidades verdes corresponden a las zonas topográficamente más bajas; las ocre a las de mayor altura. Tomado de Carrillo. 2007.

### 6.1.3.2.1. Cinturón Oriental

La zona esmeraldífera del cinturón oriental, se localiza en la parte noroccidental del Anticlinorio de los Farallones. Las principales minas ocurren en las Calizas del Guavio (Distrito de Gachalá) y en las lutitas y calizas del tope del Guavio, Distrito de Chivor (Branquet, 1999; Branquet et al., 1999b). (Véase Figura 30).

La tectónica de esta parte de la Cordillera está dominada por fallas inversas de ángulo alto con rumbo NE y buzamiento hacia el oeste. Probablemente estas fallas

<sup>22</sup> Tomado de Maya, Buenaventura & Salinas. 2004.



se originaron como fallas normales durante orogenias prejurásicas y limitaron una serie de bloques paleozoicos; este tectonismo premesozoico determinó que la discordancia del Paleozoico – Mesozoico observada en la región muestre ángulos muy variables de 0 a 90° y que se presenten cuñas de conglomerados interrumpidas por las fallas (Escovar, 1975, 1979; Ulloa, 1979, 1980; Branquet et al., 2002).

En el cinturón oriental la mineralización de esmeraldas está controlada tectónicamente. Los sitios productivos se localizan en la zona de falla, en brechas o en fracturas y venas a menos de 200 m de las fallas y probablemente conectadas a ellas; característica que se puede extender a todo este cinturón (Escovar, 1975, 1979).

Nuevos análisis estructurales de los depósitos de esmeraldas y ocurrencias de la zona oriental (Arhan, 1993; Branquet, 1999; Cheilletz et al., 1997; Branquet et al., 1999b) indican que la mineralización de esmeraldas ocurrió en el límite del Cretácico – Paleógeno durante un evento tectónico extensional tipo escama ligado a una disolución de evaporitas. Esto condujo a la formación de un nivel brechoso estratiforme mineralizado. Las albititas blancas constituyen los respaldos superior e inferior de los niveles brechosos estratiformes.

En el depósito de Chivor, diferentes tipos de estructuras mineralizadas están ramificadas desde el nivel brechoso: (i) fallas lítricas, (ii) fracturas distensivas inyectadas con brechas hidrotermales y (iii) grupo de fracturas extensionales con dirección NE -SW que cortan perpendicularmente las albititas. La fase tectónica transpresional que corresponde al episodio Mioceno Medio de la Cordillera Andina provoca la fracturación de los depósitos de esmeralda por medio de fallas normales, inversas y zonas de cizalla.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> Tomado de Maya, Buenaventura & Salinas. 2004.

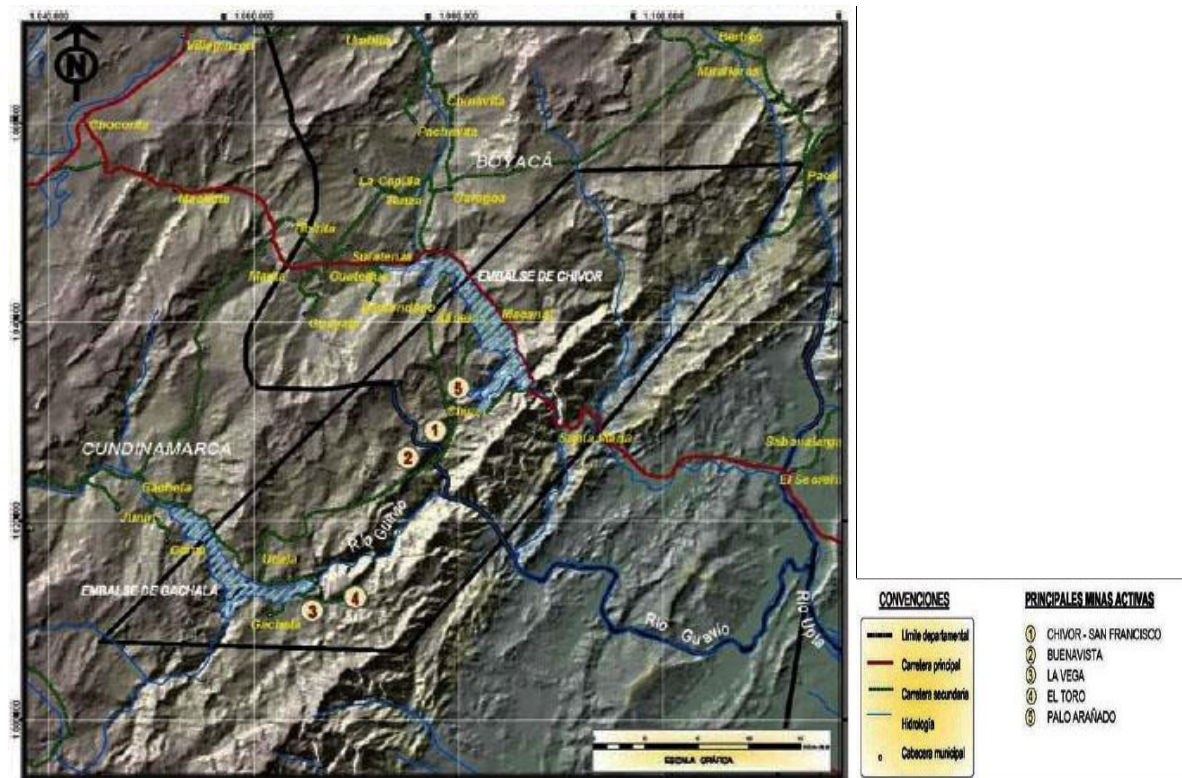


Figura 29. Distribución geográfica de las principales minas activas de la zona esmeraldífera oriental. Tomado de Carrillo, 2007.

### 6.1.3.2.2. Cinturón Occidental

En el Cinturón Occidental se ha determinado que los depósitos yacen en la cresta del anticlinorio de Villeta con buzamiento axial hacia el SSW el cual está atravesado por tres sistemas de fallas que lo separan en bloques, cada uno de los cuales ha sido desplazado hacia el NE; el anticlinorio cabecea inmediatamente al sur de la mina de Muzo. Las mineralizaciones de esmeralda aparentemente están relacionadas con fallas de dirección, en general, NNE y NW (Ulloa, 1979, 1980).

Igualmente, cada depósito en particular está controlado por un fallamiento local. En Muzo, las principales excavaciones están cruzadas por varias fallas de desplazamiento pequeño, con rumbo N y NE, a las cuales se asocian pliegues irregulares de mediana escala dentro de la lutita; a lo largo de estas fallas es frecuente observar zonas de brecha, algunas de ellas mineralizadas. En el depósito de Coscuez la mineralización se encuentra en una zona de lutita intensamente plegada limitada por dos fallas con rumbo Norte.

La esmeralda en estos depósitos se extrae casi exclusivamente de venas de calcita blanca que cortan lutitas negras carbonosas bien estratificadas ricas en pirita,





pertenecientes a la Formación Paja. Localmente se han encontrado esmeraldas dentro de venas en calizas, aunque en secuencias predominantemente arcillosas. En Peñas Blancas, las esmeraldas se presentan en venas calcáreas delgadas que cortan unas intercalaciones de lutitas negras y grises de la Formación Rosa Blanca (Ulloa, 1979, 1980).

La dirección principal del plegamiento y fallamiento regional es NE-SW, el cual corresponde con la tendencia estructural de la Cordillera Oriental, afectada por el Lineamiento de Muzo (Ujueta, 1992), con orientación NW-SE que enmarca y controla la mineralización presente, el desplazamiento de estructuras, el levantamiento del bloque de la Formación Rosablanca y la posibilidad de alguna actividad ígnea al norte de la quebrada Caco. El principal rasgo tectónico lo constituye el anticlinal de La Chapa, enmarcado por estructuras sinclinales, afectadas a su vez por fracturas debidas a fuerzas compresivas y distensivas: sinclinales de Muzo, Santa Helena, Otanche y Coscuez. La falla del río Minero, de carácter regional, es de tipo compresional con buzamiento hacia el este. Es notorio el predominio del fallamiento sobre el plegamiento. Se presentan tres tendencias principales de fallas y fracturas: NE-SW, NW-SE y ENE-WSW a E-W, las cuales han desarrollado un modelo de bloques y subbloques. Las fallas Itoco, Minero, Pava – Pisco – Calamaco y Guazo determinan el bloque mineralizado del sector de Muzo - Quípama; las fallas Pava – Pisco – Calamaco, Tapaz, Guazo-Miocá y Caco limitan el bloque de mineralización en el sector de Coscuez (Mendoza, 1996). (Véase Figura 31).<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> Tomado de Maya, Buenaventura & Salinas.2004.



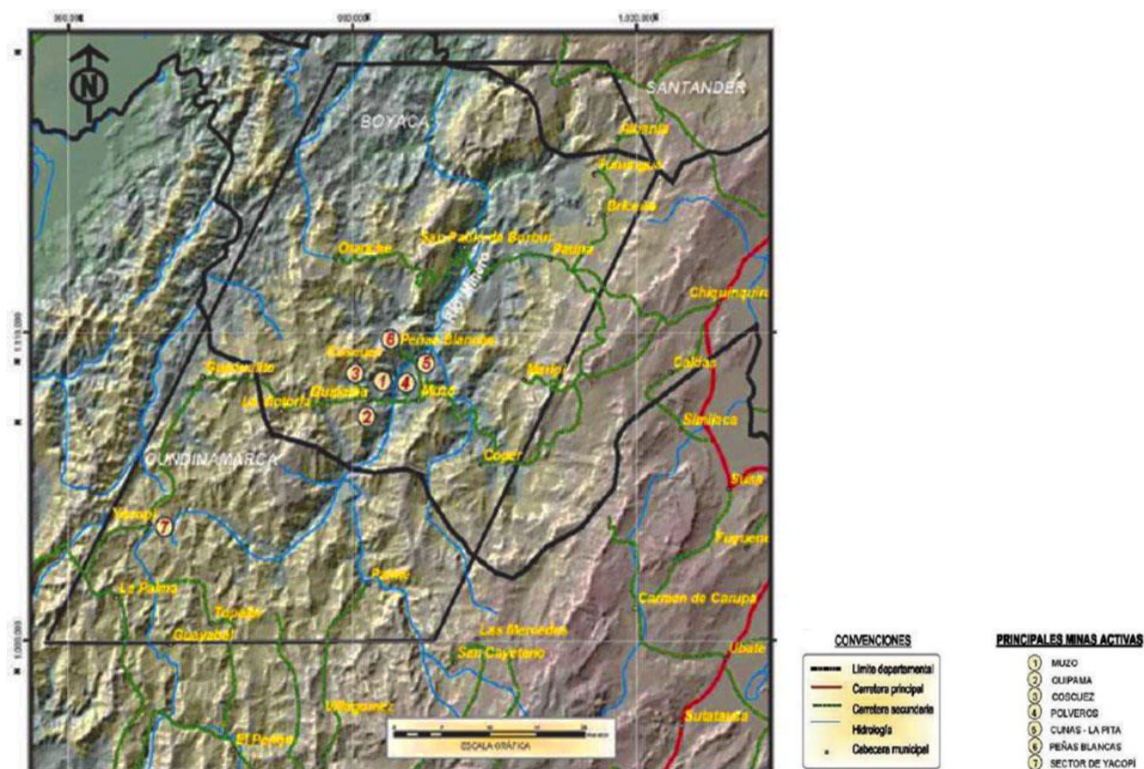


Figura 30. Distribución geográfica de las principales minas activas de la zona esmeraldífera occidental. Tomado de Carrillo. 2007.

## 6.2. Aspectos exploratorios

Teniendo en cuenta el objetivo económico del presente trabajo, y tomando en cuenta la complejidad que presenta el modelo genético colombiano, a continuación se plantean desde el campo de la cartografía geológica, algunas observaciones relacionadas con el potencial esmeraldífero del área, específicamente en relación con el túnel en la Bocamina Chaparral 2, ya que el túnel en la Bocamina Chaparral 1 localizado al occidente de la zona de estudio se encontraba inactivo durante el tiempo en el que se efectuaron los trabajos de campo.

Amerita resaltar que la cartografía geológica, desde el punto de vista de la exploración para esmeraldas, representa solamente la etapa inicial de una secuencia de procesos técnicos especializados, entre los cuales se destacan: determinaciones estructurales detalladas, caracterización geoquímica y petrográfica tanto de vetas como de la roca caja; determinaciones termométricas; asociaciones paragenéticas; estudios de termoreducción de la materia orgánica contenida en los shales negros encajantes y, eventualmente, relaciones isotópicas y dataciones

radiométricas, razones por las cuales los planteamientos expuestos a continuación deben ser considerados como de naturaleza orientativa.

### 6.2.1. Caracterización exploratoria del túnel Chaparral.

La Bocamina del túnel Chaparral se encuentra localizada en las coordenadas E: 1002 341, N: 1 113 869, A: 800 m.s.n.m., iniciando en su nivel principal con una dirección de 185° hasta alcanzar una longitud de 327.3 metros; el nivel exploratorio tiene una dirección de 144° y una longitud de 248 metros. Entre sus principales características geológicas vale la pena resaltar que la Formación Furatena tiene un espesor de 290 metros, la Formación Muzo tiene un espesor de 257.3 metros y la Formación Capotes 28 metros. Se encontró una zona de brecha en el frente 3 compuesta fundamentalmente de calcita romboédrica de color oscuro de tamaños aproximadamente de 5 cm a 10 cm., pirita de color amarillo ocre en tamaños de 1 cm. aproximadamente, pequeños cristales de cuarzo (cristal de roca) de un tamaño aproximadamente de 3 cm y pirofilita en pequeños tamaños aproximadamente de 0.5 cm en una matriz de calcita esta zona de brecha corresponde a la Falla Mina que se extiende hacia el Frente 6 donde se encontraron estrías de fricción.

La información recolectada en el túnel en la Bocamina Chaparral 2, se basa en datos estructurales y estratigráficos tomados a lo largo del túnel principal, los que permitieron definir los contactos entre las Formaciones Furatena, Muzo y Capotes. Se identificaron algunas fallas menores que intersectan el túnel y las zonas de vetas que se encontraron a lo largo del mismo. En el túnel se estudiaron 6 frentes, que fueron desarrollados siguiendo las vetas que se iban encontrando a medida que se avanzaban las labores mineras.

Las vetas hacia el lado este del túnel, en dirección hacia el Cerro del Negro, presentan características de brechamiento hidrotermal; en el frente 5 las vetas son paralelas a la estratificación, rellenas principalmente de calcita con textura de granizo, y en ocasiones asociadas con pirita de un tamaño aproximado de 1 cm, en forma cúbica principalmente y en un porcentaje bajo aproximadamente de 5%. En la Imagen 43, se muestra pequeños cristales de calcita negra romboédrica, en cristales que alcanzan tamaño aproximado de 1 cm. En la Imagen 44, la veta está conformada por pequeños cristales de pirita de aproximadamente 1 cm en una matriz de calcita con textura de granizo.



*Imagen. 43. Cristales de calcita romboédrica negra en macla de un tamaño aproximado de 1cm. Tomado por la autora.*



*Imagen. 44. Veta conformada por pequeños cristales de pirita de aproximadamente 1 cm en una matriz de calcita con textura de granizo. Tomado por la autora.*

En el frente 6 se encontraron pequeñas estrías de fricción y una zona de brecha hidrotermal rellena principalmente de calcita, pirita y dolomita; (Véase Imagen 41 y 42), también se encontraron pequeños cristales de cuarzo (cristal de roca), como se muestra en la Imagen 45, embebidos en una matriz de calcita.



*Imagen. 45. Pequeños cristales de cuarzos embebidos en una matriz de calcita. Tomado por la autora.*

En el frente 3 se encontró una zona de brecha con calcita romboédrica principalmente, Imagen 46, asociada con pirita cúbica, pirofilita en pequeñas cantidades y pequeños cristales de cuarzo (cristal de roca).



*Imagen. 46. Muestra de la zona de brecha encontrada en el frente 3. Tomado por la autora.*

En los frentes 2 y 4, ubicados hacia el oeste del túnel, en dirección hacia el Cerro Pirtucha, se encontraron vetas rellenas de calcita principalmente. En la Imagen 47, se observa un veta rellena de calcita con textura de granizo de aproximadamente 15 cm de espesor en una zona de brecha en el frente 2, hacia éste frente se extiende la zona de brecha encontrada en el frente 3.





*Imagen. 47. Veta horizontal en una zona de brecha, Frente 2. Tomado por la autora.*

### **6.2.2. Observaciones areales relacionadas con las mineralizaciones.**

De la cartografía geológica realizada (Véase Mapa en el Anexo 9), se pudo comprobar que en la gran mayoría del área correspondiente al título DJU-151 afloran las Formaciones Furatena y Muzo, las que por el tipo de litoestratigrafía que las componen son las que presentan un mayor potencial geológico para albergar mineralizaciones de esmeraldas, sin embargo, debe anotarse que, como se indicó al principio del presente capítulo, la cristalización de las esmeraldas conlleva el desarrollo concomitante de múltiples procesos geológicos, geoquímicos y químicos, por lo que para tener un concepto más preciso al respecto, se hace necesario aplicar las técnicas mencionadas a nivel local.

Se resalta que la imposibilidad de acceder al túnel antiguo, zona que potencialmente se considera la más favorable en este aspecto, y la no aplicación de técnicas especializadas de prospección (ya mencionadas anteriormente), no permite conceptualizar de fondo sobre este tema.

La zona de estudio presenta una tectónica bastante compleja por lo cual se da la presencia de las zonas de brechas hidrotermales que se evidencian en el túnel lo cual es un buen lugar para albergar una mineralización de esmeraldas.

## 7. Conclusiones

- Las observaciones estratigráficas y estructurales realizadas, si bien a nivel regional (Plancha 190 a escala 1:100.000 del Ingeominas, 1985), plantean una secuencia estratigráfica marina homogénea, sin mayores complicaciones faciales, y un cuadro estructural sencillo (una estructura anticlinal hacia el oriente, cuyo flanco occidental es afectado por la gran falla del Río Minero), a nivel de detalle se encuentran numerosas complicaciones estructurales que indican que la zona presenta una gran complejidad tectónica.
- El túnel en la Bocamina Chaparral 1, que según información reportada por el último geólogo que trabajó en La Empresa, alcanzó cerca de 1400 m de longitud, no pudo ser reconocido dado que en el momento de las labores de campo se encontraba cerrado. El objetivo de este túnel, según lo comunicó verbalmente el técnico mencionado, era alcanzar la Formación Muzo (unidad que en teoría, se presenta como muy favorable para albergar mineralizaciones esmeraldíferas), sin embargo, a pesar del largo tramo avanzado, 1400 m, esta meta nunca se materializó. Esto se explica porque hacia el flanco occidental del título DJU-151, las capas del Cretácico presentan una estratificación suavemente ondulada manteniendo en general una posición subhorizontal, lo que indica que el avance del túnel siempre siguió por el mismo nivel estratigráfico.
- Los parámetros metodológicos que controlan la mineralización de esmeraldas son numerosos y complejos. La secuencia exploratoria comprende un rango secuencial amplio. En consecuencia, los planteamientos que se exponen a continuación, derivados de las observaciones básicas estratigráficas y estructurales realizadas, tienen un carácter netamente orientativo.
- Ni en el túnel en la Bocamina Chaparral 2, ni en los demás sectores que se controlaron en campo, ver PLANO GEOLÓGICO del Título DJU-151, Anexo 9, se evidenció la presencia de alteraciones hidrotermales directamente relacionadas con el proceso de mineralización de esmeraldas (albitización). Es relativamente frecuente, a nivel macroscópico, la asociación mineralógica “pirita-calcita”, con ocasionales apariciones de cuarzo cristalino de drusa de



dimensiones menores, característica que no permite soportar rangos termométricos que den indicios de la presencia cercana de zonas mineralizadas con esmeraldas.

- Debe resaltarse que la no observación de los procesos de albitización en campo pudo deberse a la falta de experticia de la autora, conjugada con las circunstancias de tiempo y de apoyo económico, que jugaron en contra de la realización de estudios petrográficos o de rayos X, que hubiesen permitido dar un mejor soporte a los fenómenos de alteración hidrotermal observados principalmente en el túnel en la Bocamina Chaparral 2.
- Finalmente, a pesar de los resultados presentados (enfaticando que los mismos tienen un significado básicamente orientativo), vale la pena considerar que la posición geográfica de la Bocamina Chaparral 1 de los trabajos antiguos, localizadas hacia el sector NW del título DJU-151, puede tener un significado geológico de gran interés ya que todas las minas que desde hace unas dos décadas han entrado a remplazar la caída de la producción de esmeraldas en las minas tradicionales de Muzo y Coscuez, El Consorcio, La Pita y Casa de Teja, entre otras, se encuentran alineadas hacia el flanco oriental del Río Minero, pocos kilómetros al SW de la antigua Bocamina Chaparral 1, razón por la cual el área mantiene un atractivo potencial minero.

## 8. Recomendaciones

- El desarrollo de un plan de exploración para esmeraldas, científicamente soportado, requiere la aplicación de numerosas técnicas geológicas especializadas, las cuales ya fueron mencionadas en el capítulo de las conclusiones. Como el presente trabajo cubrió básicamente la componente estratigráfica-estructural, se recomienda la realización de estudios de detalle relacionados con el mapeo de zonas de alteración hidrotermal, y observaciones y ensayos adicionales de carácter termométrico, con el fin de definir con un razonable grado de soporte científico el verdadero potencial minero del Título DJU-151, en relación con las mineralizaciones de esmeraldas.
- De manera específica se recomienda complementar las observaciones realizadas en la zona de brecha en el frente 3 y en el nivel principal en el Túnel en la Bocamina Chaparral 2, en relación con el desarrollo de zonas de alteración tipo albitización, ya que en estudios geológicos de la Compañía, se reporta la presencia de pirofilita y cristales de cuarzo. De igual manera podría pensarse en realizar labores de avance hacia el Cerro Alto del Negro, si se logra confirmar las comunicaciones verbales de los habitantes del sector, en las que afirman que en esta zona se han encontrado vetas con morralla.
- Por la continuidad geológica de la franja esmeraldífera que se configura inmediatamente al SW del Túnel en la Bocamina Chaparral 1, ver el capítulo de Conclusiones, se recomienda realizar un estudio geoquímico detallado de rocas y suelos hacia el oriente y el occidente de dicha bocamina, con el fin de establecer anomalías que pudieran indicar un potencial favorable para el desarrollo de mineralizaciones esmeraldíferas en este sector del Título DJU-151.



## 9. Bibliografía

- Acevedo Diego & Vargas Marly. 2014. Informe Geología Título minero DJU-151. Compañía Operadora de Minas S.A.S.
- Alcaldía de Maripí. 2000. Esquema de Ordenamiento Territorial.
- Branquet, Y., Laumonier, B., Cheilletz, A. & Giuliani, G., 1999b. Emeralds in the Eastern Cordillera of Colombia: Two tectonic settings for the one mineralization. *Geology*, v.27; no. 7; 597-600.
- Carrillo L. Víctor M. Primera edición en medio magnético 2007. Primera edición impresa 2009 Esmeraldas de Colombia. Patrimonio geológico de la Humanidad. "Sociedad Colombiana de Geología."
- Cooper, M.A., Adison, F.R., Álvarez, R., Coral, M., Graham, R.H., Hayward, A.B., Howe, S., Martínez, J., Naar, H., Penas, R., Pulham, A.J., Taborda, A., 1995. Basin development and tectonic history of the Llanos basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *AAPG Bull.* 79 (10): 1421-1443.
- Fabre, A., 1987. Tectonique et génération d'hydrocarbures: un modèle de l'évolution de la Cordillère Orientale de Colombie et du bassin des Llanos pendant le Crétacé et le Tertiaire, *Arch. Sc. Genève*, 40(2): 145-190.
- Fuquen Jaime Alberto & Osorno José Fernando. Febrero de 2005. Memoria de la geología Regional de la plancha 190, Chiquinquirá Instituto Colombiano de Geología y Minería. INGEOMINAS.
- Mantilla L., Reyes G. Mojica J. Presencia de Cloritoide en rocas cretácicas del Cinturón Esmeraldífero Occidental (Cordillera Oriental, Colombia): Implicaciones Genéticas. Universidad Industrial de Santander (UIS), Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).
- Maya Mario, Buenaventura Joaquin & Salinas Rosalba. Mayo de 2004. Estado del Conocimiento de la exploración de esmeraldas en Colombia. Instituto Colombiano de Geología y Minería. INGEOMINAS.
- Mendoza Jaime. 1996. Anotaciones geoquímicas para Exploración de Esmeraldas en la Región Muzo-Coscuez con Base en la Relación Na/K y Elementos traza. Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia.



*IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PARA EL TÍTULO DJU-151, MINA CHAPARRAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MARIPÍ EN LA DETERMINACIÓN DE MINERALIZACIONES DE ESMERALDAS*



- Ortega Laura. 2007. Tesis de grado “Tipología y condiciones de formación de las manifestaciones hidrotermales del sector esmeraldífero “Peña Coscuez” (Municipio San Pablo de Borbur, Boyacá) “.Universidad Industrial de Santander. Escuela de Geología.
- Reyes Germán, Montoya Diana & Terraza Roberto. 2006. Geología del Cinturón Esmeraldífero Occidental. Escala 1:100.000. Instituto Colombiano de Geología y Minería.
- Alcaldía de Maripí. Sitio web. Publicación consultada el día 9 de Julio de 2017 de la página web: [http://www.maripi-boyaca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.maripi-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml)
- Esmeralda. Enciclopedia Digital. Publicación consultada el día 9 de Julio de 2017 de la página web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Esmeralda>.
- Propiedades de la Esmeralda. Plataforma interactiva. 2009. Publicación consultada el día 10 de Julio de 2017 de la página web: <http://www.minadepiedras.com/es/la-esmeralda/propiedades-de-la-esmeralda.html>.



IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PARA EL TÍTULO DJU-151, MINA  
CHAPARRAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MARIPÍ EN LA DETERMINACIÓN DE  
MINERALIZACIONES DE ESMERALDAS



# ANEXOS

LIBRETA DE CAMPO							
ESTACIÓN	Este	Norte	Altura (m.s.n.m.)	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
GLRP-001	1 003 044	1 113 650	891	27	44SW	Arcillolitas fisiles carbonosas color gris claro meteorizado y gris oscuro fresco con presencia de óxidos de hierro con un espesor de afloramiento de aproximadamente 2.5 metros.	Sobre la Carretera
GLRP-002	1 003 090	1 113 739	892	31	37NE	Arcillolitas fisiles carbonosas color gris claro meteorizado y gris oscuro fresco con presencia de óxidos de hierro.	Sobre la Carretera
GLRP-003	1 003 055	1 114 156	840	45	32SW	Lutitas gris claro con óxidos de hierro	Sobre la Carretera "Recebera"
GLRP-004	1 002 966	1 114 285	830	34	84SE	Arcillolitas grises casi perpendiculares con presencia de óxidos de hierro.	Sobre la Carretera
GLRP-005	1 002 960	1 114 280	827			Cambio entre arcillolitas negras a arcillolitas blancas por presencia de fluidos hidrotermales	Sobre la Carretera
GLRP-006	1 002 856	1 114 092	815			Pequeño plegamiento lutitas gris oscuro	Sobre la Carretera
GLRP-007	1 002 585	1 114 531	846	120	55SW	Arcillolitas fisiles color gris oscuro fresco	Sobre la Carretera
GLRP-008	1 002 143	1 113 535	888			Lutitas color fresco gris oscuro, color meteorizado gris claro con presencia de óxidos de hierro. Presencia de calcita en cantidades considerables cubierta en gran parte por materia orgánica. El color de la calcita es un amarillo claro que indica claro que indica posiblemente deshidratación.	El Zarzo o Campanario
GLRP-009	1 002 106	1 113 326	915	230	25SE	Lutitas color fresco gris oscuro, color meteorizado gris claro. Roca compacta espesor afloramiento aproximadamente 4 metros.	Cartagena
GLRP-010	1 002 305	1 113 830	822			Intercalación de arcillolitas y lutitas color gris claro meteorizado gris oscuro fresco	El Arca
GLRP-011	1 002 359	1 114 024	776	132	42SE	Arcillolitas fisiles color gris oscuro fresco gris claro meteorizado	Carretera a la bocamina
GLRP-012	1 002 380	1 114 166	767	254	57SW	Intercalación de arcillolitas espesor aproximado de 2 metros y lutitas de 1 metro color gris oscuro, fuerte presencia de óxidos de hierro	Carretera a la bocamina
GLRP-013	1 002 336	1 114 165	767	110	57SW	Arcillolitas carbonosas gris oscuro con presencia de óxidos de hierro.	Carretera a la bocamina
GLRP-014	1 002 295	1 114 230	768	210	53SW	Arcillolitas fisiles color gris oscuro con presencia de óxidos de hierro	Carretera a la Zulia desvío hacia la bocamina
GLRP-015	1 002 362	1 114 320	786	144	32SW	Lutitas gris claro meteorizado y gris oscuro fresco	Sobre la Carretera
GLRP-016	1 002 191	1 114 078	713	160	60	Arcillolitas color fresco gris oscuro y color gris claro meteorizado con óxidos de hierro, espesor aproximado del afloramiento de 2.5m.	Desvío por los lados de la escuela
GLRP-017	1 002 177	1 114 000	718			Pequeño plegamiento arcillolitas gris oscuro	Desvío por los lados de la escuela
GLRP-018	1 002 057	1 113 843	685	129	35SW	Arcillolitas color fresco gris oscuro, meteorizado gris claro. Presencia de materia vegetal y óxidos de hierro.	Desvío por los lados de la escuela
GLRP-019	1 001 600	1 113 744	655			Arcillolitas fisiles carbonosas color gris oscuro con presencia de limolita.	Buenos aires
GLRP-020	1 001 969	1 113 866	650			Arcillolitas carbonosas fisiles color gris oscuro, bastante presencia de materia vegetal.	
GLRP-021	1 002 015	1 114 037	647			Arcillolitas carbonosas hacia la base presencia de óxidos de hierro hacia el techo presencia de materia orgánica, color meteorizado gris oscuro rojizo y color fresco gris oscuro a negro.	Quebrada Honda
GLRP-022	1 001 906	1 114 029	619			Arcillolitas fisiles carbonosas gris oscuro a negro con presencia de limolita y óxidos de hierro.	Quebrada Honda
GLRP-023	1 001 821	1 113 944	605	295	28 SW	Arcillolitas un poco mas compactas gris oscuro con presencia de óxidos de hierro.	Quebrada El hoyo o La Laguna
GLRP-024	1 001 737	1 114 002	571	140	50 SW	Arcillolitas carbonosas gris oscuro con presencia de óxidos de hierro.	Quebrada Honda
GLRP-025	1 001 626	1 114 030	554			Arcillolitas gris oscuro con presencia de óxidos de hierro.	Quebrada Honda
GLRP-026	1 001 332	1 113 917	554			Arcillolitas gris oscuro con alta presencia de materia orgánica.	Quebrada Honda
GLRP-027	1 001 195	1 114 158	487			Arcillolitas gris oscuro con presencia de óxidos de hierro.	Quebrada El hoyo o La Laguna
GLRP-028	1 001 205	1 114 188	484			Lutitas con presencia de óxidos de hierro.	
GLRP-029	1 001 064	1 114 255	462			Arcillolitas con presencia de óxidos de hierro hacia la base color gris oscuro.	Entrada antigua bocamina.
GLRP-030	1 000 971	1 114 005	457			Arcillolitas carbonosas gris oscuro con presencia de óxidos de hierro.	Quebrada Paso Real
GLRP-031	1 000 500	1 113 537	424			Arcillolitas carbonosas gris oscuro-negro; Hacia la parte derecha se observa un afloramiento de aproximadamente 6 metros de altura.	Quebrada Caipala
GLRP-032	1 000 581	1 113 453	459	69	50SE	Arcillolitas carbonosas un poco más compactas. Plegamiento hacia la parte izquierda.	Quebrada Caipala
GLRP-033	1 000 704	1 113 420	534			Arcillolitas carbonosas gris oscuro.	Quebrada Caipala





IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PARA EL TÍTULO DJU-151, MINA  
CHAPARRAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MARIPI EN LA DETERMINACIÓN DE  
MINERALIZACIONES DE ESMERALDAS



GLRP-034	1 000 934	1 113 277	804			Arcillolitas carbonosas color gris oscuro. Se observa hacia la parte derecha estratos más horizontales y hacia la parte izquierda estratos con leve inclinación hacia el SW.	Quebrada Caipala
GLRP-035	1 000 984	1 113 376	738			Lutitas compactas gris oscuro en estratos horizontales.	Quebrada Caipala
GLRP-036	1 001 045	1 113 277	804			Arcillolitas carbonosas gris oscuro-negro con estratificación horizontal inclinada hacia el SW.	Quebrada Caipala
GLRP-037	1 001 079	1 113 240	843			Arcillolitas carbonosas físeles gris oscuro-negro.	Quebrada Caipala
GLRP-038	1 001 795	1 113 122	967			Arcillolitas carbonosas físeles gris oscuro-negro.	Quebrada Caipala
GLRP-039	1 001 420	1 114 539	509			Arcillolitas color fresco gris oscuro y color gris rojizo meteorizado con presencia de caolín.	Alto León
GLRP-040	1 001 011	1 116 743	503			Arcillolitas carbonosas negras físeles, se inclinan hacia el SW	Quebrada La Vueltiada
GLRP-041	1 001 731	1 114 711	575			Arcillolitas carbonosas negras un poco mas compactas.	
GLRP-042	1 001 931	1 114 568	615	100	41SW	Arcillolitas carbonosas color fresco gris oscuro-negro y color meteorizado amarillo-naranja.	
GLRP-043	1 001 931	1 114 507	615	110	48SW	Arcillolitas negras carbonosas físeles.	
GLRP-044	1 001 961	1 114 462	633	180	50W	Arcillolitas negras carbonosas físeles.	
GLRP-045	1 002 030	1 114 435	648	110	54SW	Arcillolitas físeles carbonosas negras.	
GLRP-046	1 002 102	1 114 367	658			Arcillolitas negras carbonosas físeles color meteorizado rojizo y amarillo.	Quebrada La Vueltiada
GLRP-047	1 001 402	1 114 732	457	127	20SW	Arcillolitas negras físeles carbonosas con presencia de óxidos de hierro.	
GLRP-048	1 001 297	1 114 658	414			Arcillolitas físeles carbonosas color fresco gris oscuro-negro, color meteorizado amarillo rojizo. Presencia de óxidos de hierro. Se inclinan hacia el SW.	
GLRP-049	1 001 385	1 114 638	452	120	33SW	Arcillolitas carbonosas físeles gris oscuro.	
GLRP-050	1 001 550	1 114 508	508			Arcillolitas carbonosas color fresco gris oscuro-negro con presencia de óxidos de hierro. Se inclinan hacia el SW.	
GLRP-051	1 001 549	1 114 496	508	124	20 SW	Arcillolitas físeles carbonosas gris oscuro-negro, presencia de veta de aproximadamente 5 cm de espesor de calcita color gris oscuro en algunas partes.	
GLRP-052	1 001 576	1 114 483	508			Arcillolitas carbonosas físeles color gris oscuro-negro se inclinan hacia el SW.	Quebrada Alto León
GLRP-053	1 001 502	1 114 479	508			Arcillolitas físeles carbonosas en laminación paralela continua, se inclinan hacia el SW. Afloramiento de aproximadamente 4 metros.	
GLRP-054	1 001 775	1 114 356	576	114	40SW	Arcillolitas físeles gris oscuro con presencia de óxidos de hierro.	
GLRP-055	1 002 105	1 114 350	669			Arcillolitas físeles carbonosas gris oscuro-negro se inclinan hacia el SW.	
GLRP-056	1 002 105	1 114 329	679	143	60SW	Arcillolitas carbonosas físeles color gris oscuro-negro se inclinan hacia el SW.	
GLRP-057	1 002 175	1 114 428	679			Arcillolitas color gris oscuro-negro carbonosas físeles.	
GLRP-058	1 002 209	1 114 420	679	140	53 SW	Arcillolitas un poco mas compactas carbonosas negras, se inclinan hacia el SW	
GLRP-059	1 002 332	1 114 456	679			Arcillolitas carbonosas físeles color negro con presencia de óxidos de hierro.	
GLRP-060	1 002 374	1 114 476	679	160	49SW	Arcillolitas carbonosas negras.	

Anexo 1 . Tabla de datos recolectados en superficie. Elaborado por la autora.



IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PARA EL TÍTULO DJU-151, MINA  
CHAPARRAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MARIPI EN LA DETERMINACIÓN DE  
MINERALIZACIONES DE ESMERALDAS



BOCAMINA CHAPARRAL										
Abs.	Formación			Tipo de estructura				Dato estructural		Descripción
	Furatena	Muzo	Capotes	Falla	Formación	Brecha	Diaclasa	Rumbo	Buzamiento	
TÚNEL PRINCIPAL DIRECCIÓN 185° LONGITUD TOTAL 327,3 metros										
9	X				X			N10W	22SW	Arcillolitas carbonosas algo oxidadas
11	X				X			N13W	22SW	Arcillolitas gris claro principalmente entre la abscisa 10 y 15 en el techo presenta óxidos de hierro de hierro laminación ondulada poco compactas hacia la abscisa 13. Entre la abscisa 18 y 20 hay intercalaciones entre lutitas grises claras compactas y arcillolitas grises claras poco compactas.
13	X				X			N4W	20SW	
14,3	X				X			N24W	23SW	
16	X				X			N10W	19SW	
19,7	X				X			N22W	29SW	
20,8	X				X			N10W	28SW	Intercalaciones de lutitas gris claro con arcillolitas gris claro, presentan laminación ondulada.
22	X				X			N20W	29SW	
27	X				X			N23W	17SW	
28	X				X			N20W	30SW	
28,6	X				X			N5W	25SW	
31,4	X				X			N10W	30SW	Intercalaciones de lutitas gris claro y arcillolitas gris claro con presencia de óxidos de hierro y limonita en algunas partes.
33,8	X				X			N8W	25SW	
35	X				X			N10W	20SW	
37	X				X			N16W	18SW	
40	X				X			N17W	30SW	
40,9	X				X			N26W	22SW	Intercalación de lutitas compactas gris claro y arcillolitas poco compactas gris claro. Presentan laminación ondulada.
45	X				X			N47W	30SW	
42	X				X			N40W	13SW	
48,8	X				X			N14W	20SW	
49,2	X				X			N40W	16SW	
57	X				X			N-S	13W	Intercalación de lutitas compactas gris claro y arcillolitas poco compactas gris claro. Se observan pequeñas grietas rellenas de caolín y calcita.
59,4	X				X			N9W	20SW	
61	X				X			N-S	13W	Lutitas gris claro compactas con estratificación ondulada, hacia la abscisa 68 se presentan intercalaciones con arcillolitas gris claro. Se observan pequeñas laminas de pirita hacia la abscisa 69.
63	X				X			N-S	31W	
71	X				X			N5E	38NW	Intercalación de lutitas compactas gris claro con arcillolitas poco compactas gris claro. Presentan estratificación ondulada.
72,5	X				X			N5W	23SW	
75	X				X			N-S	20W	Intercalación de lutitas compactas gris claro con arcillolitas poco compactas gris claro.
81,5	X				X			N5E	40NW	
83	X				X			N14E	26NW	
84	X				X			N9E	18NW	
86,46	X				X			N10E	18NW	Intercalación de lutitas compactas gris claro con arcillolitas poco compactas gris claro.
91,2	X				X			N8E	30MW	
93,9	X				X			N7W	23SW	
97,3	X				X			N20E	12NW	
100,85	X				X			N7E	30NW	Intercalación de lutitas compactas gris claro con arcillolitas poco compactas gris claro.
101	X				X			N45W	26NW	



IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PARA EL TÍTULO DJU-151, MINA  
CHAPARRAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MARIPI EN LA DETERMINACIÓN DE  
MINERALIZACIONES DE ESMERALDAS



102,6	X				X			N54W	25SW	Lutitas gris claro compactas calcáreas
103,2	X				X			N64W	30SW	Arcillolitas gris oscuro-negro carbonosas poco compactas calcáreas
104,4	X				X			N22E	30NW	Intercalación entre lutitas gris oscuro calcáreas compactas con arcillolitas gris oscuro carbonosas calcáreas poco compactas
105	X				X			N41W	23SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
106,7	X				X			N55W	25SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas con presencia de óxidos de hierro
109	X				X			N38W	25SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
110,9	X				X			N40W	26SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
112,6	X				X			N40W	23SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
114,3	X				X			N40W	26SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
117,8	X				X			N34W	26SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
120,5	X				X			N41W	29SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
124,5	X				X			N44W	27SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
126,5	X				X			N40W	27SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
128,9	X				X			N34W	30SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
130,3	X				X			N34W	30SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
132	X				X			N44W	31SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
134,4	X				X			N44W	26SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
137,7	X				X			N40W	28SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
143	X				X			N46W	29SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
146,4	X				X			N40W	28SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
149,8	X				X			N44W	26SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
151,3	X				X			N39W	32SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
152,7	X				X			N37W	29SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
154,7	X				X			N40W	27SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas con presencia de óxidos de hierro. Posee impregnaciones de calcita en forma granular de color amarillo claro
157,9	X				X			N43W	30SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
160,8	X				X			N40W	30SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
163,1	X				X			N40W	32SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
165,1	X				X			N44W	31SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
168,1	X				X			N39W	31SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
171,9	X				X			N40W	30SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
174	X				X			N40W	30SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
176,7	X				X			N37W	27SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
178,7	X				X			N37W	27SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
182,6	X				X			N42W	34SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
184,1	X				X			N43W	33SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
185,9	X				X			N35W	31SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
187,7	X				X			N43W	34SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
190,6	X				X			N40W	32SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
192	X				X			N35W	31SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
194,4	X				X			N41W	31SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
198,8	X				X			N42W	32SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
202,6	X				X			N37W	33SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
205,5	X				X			N45W	35SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
206,6	X				X			N32W	36SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
209,6	X				X			N32W	38SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
211	X				X			N34W	32SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
215	X				X			N41W	35SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
217,9	X				X			N35W	35SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
219,9	X				X			N40W	32SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
224,6					X			N35W	38SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
226,5					X			N40W	39SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
228,3					X			N40W	37SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
229,9					X			N37W	41SW	Lutitas gris oscuro compactas calcáreas
231,1	X				X			N25W	40SW	Lutitas negras compactas calcáreas
236,1	X				X			N38W	41SW	Lutitas negras compactas calcáreas. Se encuentran pequeñas venas de calcita perpendiculares a la estratificación.
237,2	X				X			N32W	45SW	Lutitas negras compactas calcáreas. Se encuentran pequeñas venas de calcita perpendiculares a la estratificación.
239	X				X			N21W	50SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
240	X				X			N35W	55SW	Lutitas negras compactas calcáreas. Pequeña vena de pirita hacia el techo.



IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PARA EL TÍTULO DJU-151, MINA  
CHAPARRAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MARIPI EN LA DETERMINACIÓN DE  
MINERALIZACIONES DE ESMERALDAS



242	X				X			N31W	41SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
244	X				X			N35W	43SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
249,5	X				X			N37W	37SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
250,8	X				X			N35W	36SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
253	X				X			N30W	39SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
254,7	X				X			N30W	39SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
259,4	X				X			N33W	35SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
260,3	X				X			N36W	41SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
261,7	X				X			N32W	40SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
264,7	X				X			N28W	40SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
267,3	X				X			N37W	48SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
271,3	X				X					Zona en la que el material se encuentra fragmentado (pequeño hueco). Esto se observa en el techo y en los costados.
274,6	X				X			N28W	43SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
276,2	X				X			N32W	37SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
277,7	X				X			N29W	37SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
279,9	X				X			N36W	41SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
281,3	X				X			N30W	41SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
284,4	X				X			N40W	39SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
288,1	X				X			N27W	37SW	Lutitas negras compactas calcáreas.
292,4		X			X			N30E	71SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
297,6		X			X			N20E	60SE	Grieta, se observan venas de pirita y de calcita en la parte izquierda, hacia el techo grandes bloques, el material se encuentra fragmentado.
302,1		X			X			N20E	67SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
305,2		X			X			N19E	65SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
309		X			X			N23E	63SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
314		X			X			N24E	54SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
316,2		X			X			N16E	59SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
318,5		X			X			N16E	59SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
319,8		X			X			N5E	57SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
321,6		X			X			N27E	56SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
322,7		X			X			N26E	67SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
326,7		X			X			N5E	65SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
TÚNEL PRINCIPAL DIRECCIÓN 144 ° LONGITUD TOTAL 248 metros										
0,5		X			X			N33E	61SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
2		X			X			N40E	72SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
6,6		X			X			N36E	60SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
9,5		X			X			N34E	55SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
10,85		X			X			N31E	76SE	Lutitas negras calcáreas. Pequeña vena de calcita paralela a la estratificación. Material un poco blando.
15		X			X			N37E	79SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
17,9		X			X			N40E	70SE	Lutitas negras calcáreas. Venas pequeñas de calcita paralelas a la estratificación. Material blando.
19,1		X			X			N34E	70SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
21		X			X			N47E	73SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
24,3		X			X			N31E	65SE	Lutitas negras compactas calcáreas. Venas perpendiculares a la estratificación. Bastante fracturamiento.
28,2		X			X			N40E	74SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
30,6		X			X			N71E	69SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
34		X			X			N15E	60SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
36,7		X			X			N40E	76SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
40,5		X			X			N21E	60SE	Lutitas negras compactas calcáreas. Pequeña vena paralela a los estratos hacia la parte izquierda del túnel.
41,9		X			X			N25E	67SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
48,2		X			X			N42E	69SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
50		X			X			N32E	55SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
51,7		X			X			N22E	55SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
55,8		X			X			N45E	57SE	Lutitas negras compactas calcáreas. Vena de calcita paralela a la estratificación se extiende aproximadamente 1,5 m.

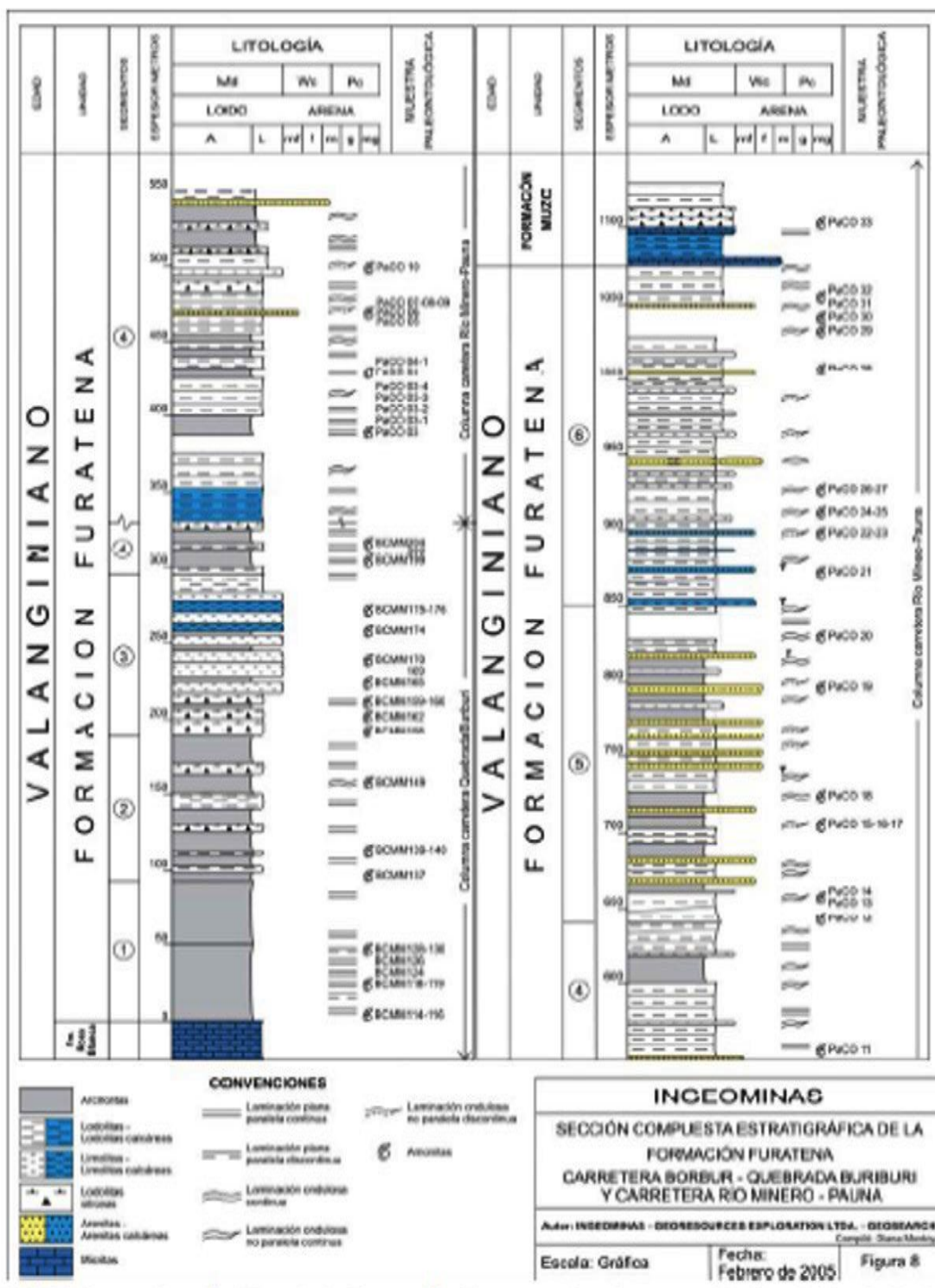


60-68		X			X					Se observa una zona en la que no se define una estratificación, es una zona de brecha, presenta calcita, pirita y dolomita y bastante fracturamiento. Entrada frente 3.
69,5		X			X			N30E	81SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
74,9		X			X			N40E	80SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
77,6		X			X			N37E	62SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
81,3		X			X			N25E	80SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
83,5		X			X			N20E	77SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
87,5		X			X			N35E	82SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
91,7		X			X			N40E	76SE	Lutitas negras compactas calcáreas. Se observa una zona de grieta hacia la parte derecha del túnel.
97,8		X			X			N25E	71SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
99,4		X			X			N40E	62SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
101,7		X			X			N40E	67SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
105,2		X			X			N37E	65SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
109		X			X			N40E	65SE	Lutitas negras compactas calcáreas. Vena s compuesta de calcita, pirita y dolomita paralelas a la estratificación.
111,4		X			X			N50E	65SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
115,1		X			X			N30E	55SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
119,2		X			X			N40E	55SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
129,7		X			X			N45E	60SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
130,6		X			X			N45E	55SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
136,4		X			X			N30E	55SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
139,4		X			X			N30E	55SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
140,4		X			X			N37E	56SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
145,6		X			X			N48E	60SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
150		X			X			N49E	62SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
162,6		X			X			N40E	49SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
166,4		X			X			N45E	45SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
170		X			X			N65E	66SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
176,3		X			X			N30E	66SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
179,3		X			X			N37E	65SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
181,5		X			X			N44E	64SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
186		X			X					Lutitas negras compactas calcáreas. CENTRO FRENTE 5.
185,6		X			X					Lutitas negras compactas calcáreas. CENTRO FRENTE 4
192,2		X			X			N70E	79SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
206,7		X			X			N60E	70SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
212,8		X			X			N55E	42SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
220,6			X		X			N51E	51SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
224,4			X		X			N46E	55SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
231,3			X		X			N57E	50SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
235,2			X		X			N50E	65SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
240			X		X			N50E	58SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
245,4			X		X			N65E	55SE	Lutitas negras compactas calcáreas.
247,8			X		X			N60E	60SE	Lutitas negras compactas calcáreas.

Anexo 2. Tabla de datos recolectados en el túnel reciente. Elaborado por la autora.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA VEREDA CHAPARRAL - VEREDA PIRTUCHA					
ERA	SISTEMA	SERIE-PISO	FORMACIÓN	ESPESOR(m)	LITOLOGÍA
MESOZOICO	CRETACICO INF.	APTIANO TARDIO-ALBIANO TEMPRANO	CAPOTES	310	<p>Arcillolitas gris oscuro en capas gruesas y medias, tabulares intercaladas con capas de limolitas síliceas y arenitas arcillosas</p> <p>lodolitas micáceas gris claro, laminadas que parten en lajas con concreciones alargadas de 10 a 20 cm de óxidos de hierro</p> <p>Arcillolita gris claro con gran cantidad de concreciones (20 a 10 cm.) de óxidos de hierro, huecas, o con amonitas</p>
			MUZO	235	<p>Intercalaciones de capas de lodolitas gris oscuro con capas de limolitas que contienen fauna representada por amonitas.</p> <p>lodolitas y limolitas albitizadas, algo calcáreas, con laminación ondulada no paralela; en este nivel aparece una zona brechada y mineralizada con venas de calcita y láminas de sulfuros oxidados.</p> <p>lodolitas calcáreas gris oscuro con venas de calcita y pirita</p>
		VALANGINIANO	FURATENA	800	<p>Intercalaciones de lodolitas calcáreas con lodolitas síliceas grises en capas lentiformes, macizas y en ocasiones con laminación ondulada paralela y no paralela.</p> <p>Arcillolitas carbonosas en capas tabulares y lentiformes ocasionales nódulos de sulfuros oxidados y laminillas de yeso; estas se encuentran intercaladas con limolitas arenosas gris oscuro, en capas subtabulares y tabulares.</p> <p>Niveles de arcillolitas grises laminadas, arcillolitas carbonosas y limolitas síliceas, en ocasiones calcáreo, con pirita en láminas.</p>

Anexo 3. Columna estratigráfica generalizada vereda Chaparral. Tomado de Diego Armando Acevedo Cardozo & Marly Judith Vargas Fonseca. 2014.



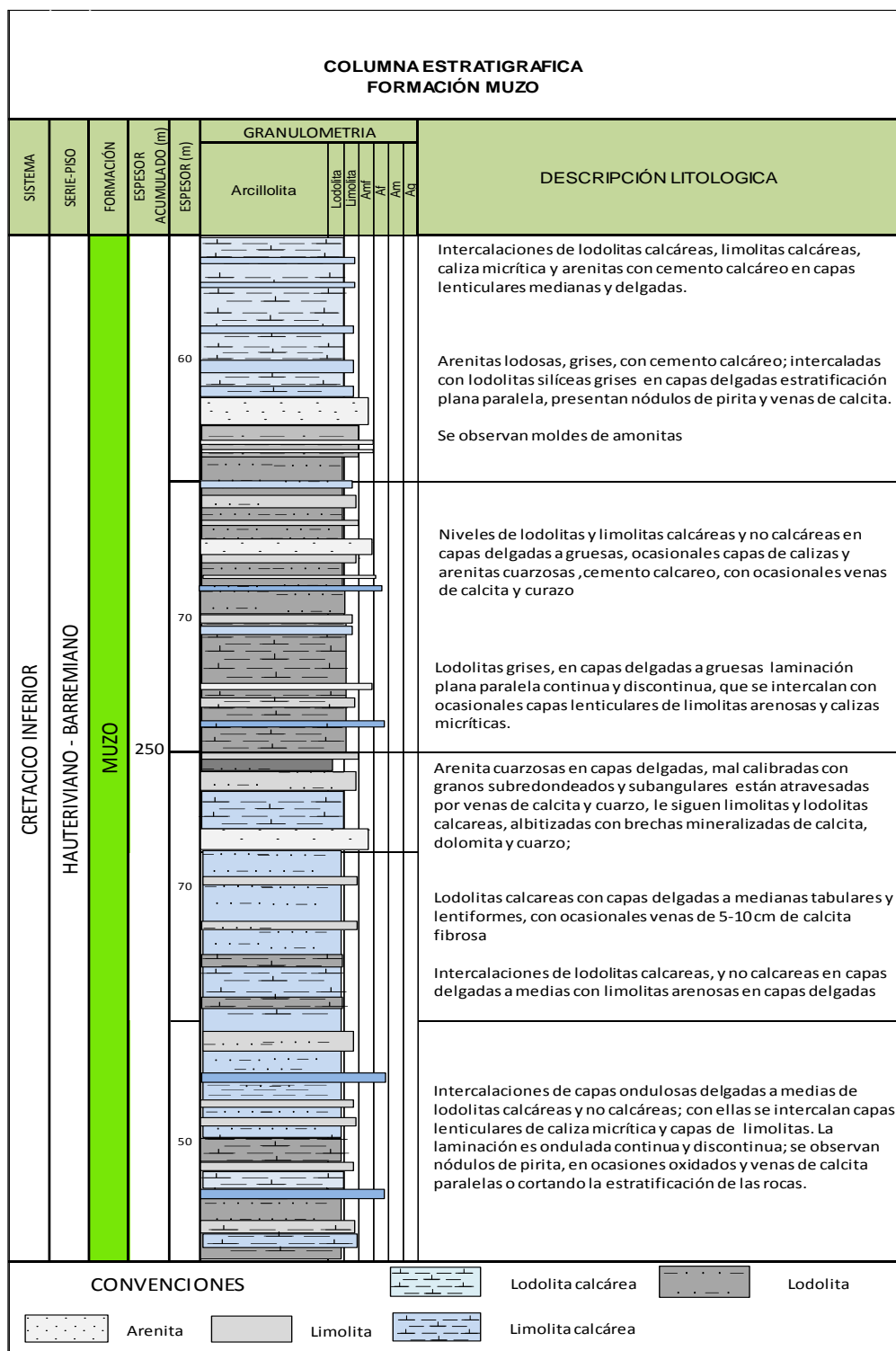
Anexo 4. Sección compuesta estratigráfica de la Formación Furatena Carretera Borbur-Quebrada Buriburi y Carretera Río Minero-Pauna. Tomado de Laura Milena Ortega Medina. 2007.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA FORMACIÓN FURATENA												
SISTEMA	SERIE-PSO	FORMACIÓN	ESPESOR ACUMULADO (m)	ESPESOR (m)	GRANULOMETRIA							DESCRIPCIÓN LITOLOGICA
					Arcillolita	Lodolita	Limolita	Pirita	Al	Am	Ag	
CRETACICO INFERIOR	VALANGINIANO	FURATENA		180								<p>Lodolitas Calcareas en capas medias a gruesas, laminación ondulada no paralela discontinua intercalada con esporadicas capas medias de caliza, presenta concreciones calcáreas, nodulos de pirita, laminasa de yeso y sulfuros óxidados.</p> <p>Alternancia de niveles de Lodololitas laminadas en capas lenticulares con niveles de limolitas grises</p> <p>Intercalaciones de lodolitas calcáreas y no calcáreas grises en capas tabulares y lentiformes, presentan ocasionales intercalaciones de limolita gris calcárea en capas medias a gruesas</p>
			150								<p>Lodolitas grises ,silíceas laminadas en capas lenticulares delgadas a medias con esporadicos lentes de arenita gris clara de grano muy fino</p> <p>Lodolitas grises finamente laminadas, en capas lenticulares a tabulares, con delgadas intercalaciones de limolita gris silíceas moderadamente dura</p> <p>En todo el segmento, la laminación es ondulada no paralela continua, se observan sulfuros y yeso en láminas</p>	
			800								<p>Arcillolitas grises a grises oscuras, con niveles arenosos en capas de 20 cm intercaladas con limolitas grises, laminación plana paralela continua , le siguen arcillolitas carbonosas y lodolitas fisiles.</p>	
			230								<p>Lodolita calcárea gris en capas medianas, delgadas y gruesas; se presentan concreciones calcáreas y pirita diseminada.</p> <p>Sucesión lodo-arcillosa donde se observan algunas intercalaciones de arenitas y limolitas. En la base se presentan capas gruesas y medianas de arcillolitas intercaladas con esporádicas capas gruesas de lodolitas, con tonos grises</p>	
			90								<p>Lodololitas silíceas en capas medias a gruesas , le siguen limolitas con delgadas intercalaciones de arcillolita carbonosa, hacia la parte media y superior se intercalan limolitas calcareas con lodolitas</p>	
			70								<p>lodolitas, compactas, grises , en capas medias a gruesas. laminación plana paralela continua a ondulosa. Es común encontrar yeso, pirita diseminada y óxidos de hierro.</p>	
			80								<p>Arcillolitas de color gris medio a oscuro en capas muy gruesas con laminación fina, plana, paralela y continua, le sigue una sucesión de arcillolitas carbonosas, fisiles, de color gris oscuro</p>	

Anexo 5. Columna estratigráfica Formación Furatena. Tomado de Diego Armando Acevedo Cardozo & Marly Judith Vargas Fonseca. 2014.







Anexo 7. Columna estratigráfica Formación Muzo. Tomado de Diego Armando Acevedo Cardozo & Marly Judith Vargas Fonseca. 2014.



